

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

## **Сети и системы передачи информации**

Электронный учебно-методический комплекс  
по дисциплине в LMS Moodle

УДК 621.391

Автор-составитель: **Ротенштейн Ирина Витальевна**

**Сети и системы передачи информации** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс по дисциплине в LMS Moodle / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т) ; авт.-сост. И. В. Ротенштейн. – Электрон. тестовые и граф. дан. - Самара, 2012. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

В состав учебно-методического комплекса входят:

1. Курс лекций.
2. Вопросы для подготовки к зачёту.
3. Рабочая программа.

УМДК «Сети и системы передачи информации» предназначен для студентов факультета информатики, обучающихся по специальности 090303.65 «Информационная безопасность автоматизированных систем», в 6 семестре.  
УМДК разработан на кафедре Геоинформатики и информационной безопасности.

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2012

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский  
университет)» (СГАУ)

Факультет информатики  
Кафедра геоинформатики и информационной безопасности

**Ротенштейн И.В.**

Курс лекций  
«СЕТИ И СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ»

Учебное пособие

для студентов, обучающихся по специальности  
090303.65 «Информационная безопасность  
автоматизированных систем»

Самара 2012

# Содержание

Тема 1. Основные принципы построения систем передачи	
Обобщённая схема систем передачи информации.....	1
Уровни передачи.....	1
Параметры первичных сигналов.....	2
Линии связи .....	3
Канал тональной частоты .....	4
Защита речи в телефонных каналах .....	5
Тема 2. Системы передачи	
Многоканальные системы передачи. ....	6
Частотное разделение каналов. ....	6
Временное разделение каналов .....	7
Кодовое разделение каналов . ....	8
Радиорелейные спутниковые системы передачи . ....	9
Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС .....	9a
Кодирование речи в ЦСП . ....	10
Волоконно-оптические системы передачи . ....	11
Иерархии ЦСП. ....	12
Европейская Плезиохронная цифровая иерархия (PDH) .....	13
Синхронная цифровая иерархия (SDH).....	14
Тема 3. Сети передачи информации	
Семиуровневая модель OSI .....	15
Сети передачи данных .....	16
Сети Беспроводного широкополосного доступа .....	17
Сети стандарта GSM .....	18

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Информация** – совокупность сведений о состоянии какого-либо материального объекта.

**Сообщение** – форма представления информации для ее передачи, хранения, обработки или непосредственного использования.

Для передачи различного рода сообщений используют электрические сигналы. **Сигналы** – электромагнитные колебания или импульсные последовательности, параметры которых отображают передаваемые сообщения. Такие сигналы могут передаваться по каналам связи на большие расстояния с помощью относительно простых технических средств, причем скорость их распространения близка к скорости света.

Таким образом, **электросвязь** – передача сообщений посредством электрических сигналов.

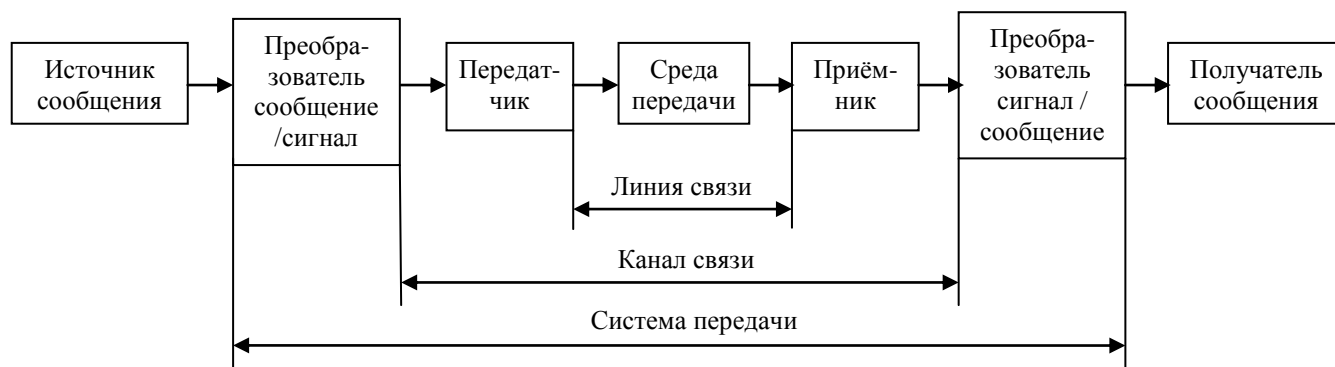
**Каналом связи** называется совокупность средств, обеспечивающих передачу сообщений от источника к получателю.

Комплекс технических средств, обеспечивающих передачу сигналов электросвязи, называют **системой электросвязи**.

**Многоканальная электрическая связь** – позволяет организовать одновременную передачу различных сигналов по одной линии связи.

**Система передачи** – совокупность технических средств, обеспечивающих формирование каналов связи.

### Обобщенная схема электросвязи.



Какая бы линия связи или система передачи не использовалась, обработка сигналов в любом оборудовании происходит только в электрическом виде, поэтому все системы передачи можно классифицировать как электросвязь.

В пунктах передачи такой системы любые сигналы от источника сообщений преобразуются в электрические сигналы. Затем, для надёжной передачи по линии связи, станционные сигналы преобразуются в линейные, которые хорошо согласуются с параметрами линии связи, а в пунктах приема происходит обратное преобразование электрических сигналов в сигналы, воспринимаемые получателями.

Создаваемые системами передачи каналы связи должны быть универсальными, т.е. пригодными для передачи любых сообщений. С этой целью каналы связи стандартизируют, т.е. определяют жесткие нормы на параметры каналов, обеспечивающие высокое качество и надежность связи.

Основным типовым каналом является **канал тональной частоты (КТЧ)**. Другие типы каналов образуются путем объединения того или иного числа КТЧ.

## ОБЩЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ ПЕРЕДАЧИ

В технике связи наряду с абсолютными единицами измерения параметров электрических сигналов (мощность, напряжение и ток) широко используются относительные единицы.

Уровнем передачи сигнала в некоторой точке канала или тракта называют логарифмическое преобразование отношения энергетического параметра сигнала (мощности, напряжения или тока) к отсчетному значению этого же параметра.

Уровни передачи измеряются в децибелах или неперах:

для уровней по мощности:  $p_M = 10 \lg \frac{W_x}{W_0}$ , [дБм];  $p_M = 0,5 \ln \frac{W_x}{W_0}$ , [Нп];

для уровней по напряжению:  $p_H = 20 \lg \frac{U_x}{U_0}$ , [дБн];  $p_H = \ln \frac{U_x}{U_0}$ , [Нп];

для уровней по току  $p_T = 20 \lg \frac{I_x}{I_0}$ , [дБт];  $p_T = \ln \frac{I_x}{I_0}$ , [Нп].

1 Нп = 8,686 дБ; 1 дБ = 0,115 Нп.

На практике применяются в основном децибелы.

Уровень передачи называется абсолютным, если мощность  $W_0=1\text{мВт}$  рассеивается на стандартном сопротивлении  $R_0=600\text{Ом}$ . Отсюда по закону Ома для участка цепи легко можно получить соответствующие абсолютные величины напряжения  $U_0$  и тока  $I_0$ :  $U_0 = \sqrt{W_0 R_0}$ ;  $I_0 = \sqrt{W_0 / R_0}$ .

В расчетах принимают округленные значения:  $W_0=1\text{мВт}$ ;  $U_0=0,775\text{ В}$ ,  $I_0=1,29\text{ мА}$ .

Чаще при измерениях параметров телекоммуникационных устройств пользуются относительными уровнями. При этом вместо абсолютных нулевых уровней используют один из известных уровней сигнала либо на передаче, либо на приеме, называемый начальным. В этом случае уровни рассчитываются по формулам:  $p_{м0} = 10 \lg \frac{W_x}{W_H}$ ;  $p_{н0} = 20 \lg \frac{U_x}{U_H}$ ;  $p_{т0} = 20 \lg \frac{I_x}{I_H}$ .

Измерительные уровни служат для определения уровней передачи с помощью измерительных приборов, называемых указателями уровня.

Для измерения уровня наиболее часто применяется схема известного генератора. В этой схеме к входу исследуемого объекта, например некоторого четырехполосника, подключается генератор испытательного сигнала с полностью определенными параметрами, т.е. его внутреннее сопротивление равно 600 Ом, развиваемая ЭДС равна 1,55В. К выходу объекта подключается указатель уровня с входным сопротивлением, равным номинальному значению сопротивления нагрузки; реальная нагрузка при этом отключается.

В качестве испытательного при измерении уровней передачи чаще всего применяют одночастотный синусоидальный сигнал, частота которого также должна быть известна (чаще всего 800Гц), а начальная фаза, как правило, не фиксируется.

Если по значению параметров подключенный генератор испытательного сигнала обладает свойством нормального, то измеренный на сопротивлении  $R_H$  уровень называется измерительным.

## ПАРАМЕТРЫ ПЕРВИЧНЫХ СИГНАЛОВ

Для преобразования любого сообщения в сигнал необходимо определить минимальное количество параметров, по которым можно будет на приёмной стороне восстановить исходное сообщение с достаточным качеством.

Теперь рассмотрим виды сигналов, используемых для передачи различных видов информации.

### 1. Телефонный сигнал.

Звуки речи, создаваемые голосовыми связками, преобразуются микрофоном в электрические сигналы сложной формы с параметрами, в сильной степени зависящими от электрического преобразователя.

Высокое качество передачи телефонного сигнала характеризуется уровнем громкости, разборчивостью, естественным звучанием голоса, низким уровнем помех.

Слышимый диапазон частот, воспринимаемый ухом человека – от 20 до 20000 Гц. Спектр звуков речи для языков разных народов может значительно различаться, но в среднем лежит в диапазоне от 70Гц до 3500Гц.

Существует понятие – электрический спектр сигнала – область частот, в которой сосредоточена основная энергия сигнала.

Основная мощность речевых сигналов сосредоточена в полосе от 150 до 3000 Гц.

Установлено, что качество речи получается удовлетворительным при ограничении спектра частотами 300-3400Гц, так как в этой полосе частот сосредоточено 90% энергии речевого сигнала.

Эти частоты приняты МСЭ-Т в качестве границ эффективного спектра речи:

$$\Delta F = 0,3 \div 3,4 \text{ кГц.}$$

При этом слоговая разборчивость составляет около 90%, разборчивость фраз 99% и сохраняется удовлетворительной натуральность и узнаваемость речи.

Средняя мощность телефонного сигнала на интервале активности составляет 88 мкВт. Коэффициент активности телефонного сигнала – отношение времени, в течение которого мощность сигнала превышает пороговое значение, к общему времени занятия канала для разговора. При разговоре каждый из собеседников говорит приблизительно 50% времени. Отдельные фразы, слова отделяются паузами. Поэтому коэффициент активности составляет 0,25...0,35.

Следовательно, с учетом активности средняя мощность телефонного сигнала составляет 32 мкВт или уровень  $P_{\text{ср}} = -15 \text{ дБм0}$  в точке нулевого относительного уровня, максимальная мощность  $P_{\text{max}} = 2220 \text{ мкВт}$  (+3,5 дБм0).



Динамический диапазон  $D=35\div 40$  дБ,  $D=10\lg(P_{\max}/P_{\min})$ . Пик-фактор  $Q=14$  дБ,  $Q=10\lg(P_{\max}/P_{\text{cp}})$ . Количество информации  $I\approx 8000$  Бит/с.

## **2. Сигналы звукового вещания.**

Спектр сигналов, возникающий при исполнении музыкальных произведений, чтении литературных текстов лежит в диапазоне частот от 15 до 20000 Гц. При передаче сигналов вещания полоса частот ограничивается. Так для достаточно высокого качества (КВ первого класса) эффективная полоса частот составляет 0,05...10 кГц, для безукоризненного восприятия (КВ высшего класса) 0,03...15 кГц.

Средняя мощность сигнала вещания составляет 923 мкВт при усреднении за час, 2230 мкВт – за минуту и 4500 мкВт за секунду. Максимальная мощность сигнала – 8000 мкВт.  $D=100$  дБ.

Для передачи по каналам связи сигнала с таким диапазоном требуется мощная и дорогостоящая аппаратура. Поэтому, не снижая очень заметно качество передачи, динамический диапазон сигналов вещания может быть ограничен до 40-50 дБ. Количество информации сигналов вещания  $I=180000$  Бит/с.

## **3. Факсимильные сигналы.**

Факсимильная связь – передача неподвижных изображений (рисунков, чертежей, фотографий, газетных полос) по каналам связи.

Первичный факсимильный сигнал получают в результате электрооптического анализа изображения, т.е. в преобразовании светового потока, отражаемого элементарными площадками изображения в электрические сигналы.

Частотный спектр первичного ФС определяется характером передаваемого изображения (частотой чередования черных и белых пятен), скоростью развертки и размерами анализируемого пятна и колеблется в пределах 732 Гц, 1100 Гц, 1465 Гц.

$$D=25 \text{ дБ,}$$

$$Q=4,5 \text{ дБ,}$$

$$I=\text{до } 11,7 \text{ кБит/с.}$$

## **4. Телевизионные сигналы.**

Первичный телевизионный сигнал также формируется методом построчной развертки передаваемого изображения, с частотой смены кадров – 25 Гц. Спектр видеосигнала зависит от принятого стандарта изображения, для системы SECAM, используемой в России и Франции, энергетический спектр сосредоточен в полосе  $\Delta f=6,5$  МГц, а для стандарта PAL – 6 МГц.

Причем в стандарте SECAM цветной телевизионный сигнал можно принимать черно-белым телевизором в монохромном режиме, так как в конкретный момент времени для кадра развертки передается только один цвет,

либо красный, либо синий, а зелёный цвет получается из их разности. Линии задержки для разных цветовых составляющих кадра выравнивают и синхронизируют время свечения соответствующих ячеек экрана, что позволяет получать качественное цветное изображение.

$$D \approx 40 \text{ дБ},$$

$$Q \approx 4,8 \text{ дБ},$$

$$I \approx 80 \text{ Мбит/с}$$

### 5. Телеграфные сигналы и сигналы передачи данных.

Первичные сигналы представляют собой последовательность однополярных или  $2^x$  полярных прямоугольных импульсов. Длительность импульсов  $\tau_{\text{и}}$  определяет скорость передачи  $V$ , измеряемую в Бодах,  $V = 1/\tau_{\text{и}}$ , Бод.

Скорость передачи численно равна т.н. **тактовой частоте**:  $F_m = 1/\tau_{\text{и}}$ , Гц.

Спектр телеграфного сигнала занимает полосу от 0 до  $\infty$ . Энергетический спектр, т.е. ширина полосы частот, где сосредоточена основная часть энергии находится в полосе частот  $0 \dots F_{\text{т}}$ . Понятия  $D$  и  $Q$  для таких сигналов не используется  $I_{\text{min}} = F_{\text{т}}$ .

Создаваемые системами передачи каналы связи должны быть универсальными, т.е. пригодными для передачи любых сообщений. С этой целью каналы связи стандартизируют, т.е. определяют жесткие нормы на параметры каналов, обеспечивающие высокое качество и надежность связи.

Основным типовым каналом является **канал тональной частоты (КТЧ)**. Другие типы каналов образуются путем объединения того или иного числа КТЧ.

Направляющая система (линия связи) – среда распространения электромагнитных волн, используемая для передачи сигналов от переносчика к приемнику. Это могут быть: волоконно-оптические линии связи (ВЛС), кабельные (КЛС), радиорелейные (РРЛ), спутниковые линии связи, волноводы.

В свою очередь кабельные линии связи подразделяют на:

- линии связи симметричного кабеля;
- линии связи коаксиального кабеля;
- линии связи оптического кабеля.

Основные требования, предъявляемые к построению и эксплуатации телекоммуникационных систем связи (ТКСС):

- обеспечение высокой надежности (устойчивость к сбоям);
- живучесть (автоматическая реконфигурация сети);
- достоверность передачи информации;
- высокое качество передаваемой информации;
- дальность передачи информации.

## Линии связи

Существующие типы линий связи (ЛС) в зависимости от используемой среды распространения сигналов принято делить на проводные и радиолинии.

К линиям связи предъявляются следующие основные требования:

- осуществление связи на практически требуемые расстояния;
- широкополосность и пригодность для передачи различных видов сообщений;
- защищенность цепей от взаимных влияний и внешних помех, а также от физических воздействий (атмосферных явлений, коррозии и пр.);
- стабильность параметров линии, устойчивость и надежность связи;
- экономичность системы связи в целом.

### ЛС на основе металлических проводников

В простейшем случае проводная ЛС - физическая цепь, образуемая парой металлических проводников. Кабельные ЛС (кабели связи) образованы проводами с изоляционными покрытиями, помещенными в защитные оболочки. По конструкции и взаимному расположению проводников различают *симметричные* (СК) и *коаксиальные* (КК) кабели связи.

*Симметричная цепь* состоит из двух совершенно одинаковых в электрическом и конструктивном отношении изолированных проводников. Её часто называют "витая пара" (TP - twisted pair). Различают экранированные (shielded – STP) и неэкранированные (unshielded – UTP) СК.

*Коаксиальная цепь* представляет собой два цилиндра с совмещенной осью, причем один цилиндр - сплошной внутренний проводник, концентрически расположен внутри другого полого цилиндра (внешнего проводника). Проводники изолированы друг от друга диэлектрическим материалом.

Рассмотрим основные параметры кабелей с металлическими проводниками.

Коэффициент затухания  $\alpha$ , дБ/км. Зависит от свойств материалов проводников и изоляционного материала. Наилучшими свойствами (малым сопротивлением) обладают медь и серебро. Коэффициент затухания зависит также от геометрических размеров проводников. СК с большими диаметрами проводников обладают меньшим коэффициентом затухания. Коэффициент затухания КК зависит от соотношения диаметров внешнего и внутреннего проводника. Оптимальными соотношениями являются (материал внешнего проводника): для меди - 3.6, для алюминия - 3.9, для свинца - 5.2.

Очень важной характеристикой, фактически определяющей широкополосность системы связи, является зависимость коэффициента затухания от частоты. Если определен граничный коэффициент затухания  $\alpha_{гр}$  (обычно он определяется возможностями усилителей или регенераторов), то данному коэффициенту соответствует граничная частота пропускания системы  $f_{гр}$ . Полоса пропускания системы не превышает граничной частоты пропускания.

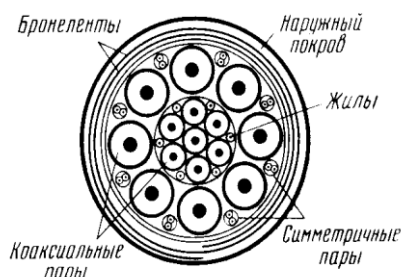
Скорость распространения  $v$ , км/мс. С ростом частоты скорость распространения увеличивается, приближаясь к скорости света в вакууме  $v_c \approx 300$  км/мс. Данный параметр зависит также от свойств диэлектрика, применяемого в кабеле.

**Волновое сопротивление**  $Z_B$  (Ом) – сопротивление, которое встречает электромагнитная волна при распространении вдоль однородной линии без отражения, т.е. при условии, что на процесс передачи не влияют несогласованности на концах линии. Волновое сопротивление СК зависит от удельных значений емкости и индуктивности кабеля. Для КК волновое сопротивление определяется как:  $Z_B = \frac{1}{2\pi} Z_d \ln \frac{D}{d}$ , где  $Z_d$  – волновое сопротивление диэлектрика,  $D$  и  $d$  – соответственно диаметры внешнего и внутреннего проводников.

Основные требования к СК определены в рекомендации МСЭ-Т G.613. Диаметр жилы СК обычно составляет 0.4...1.2 мм. СК обычно используются в диапазоне частот до 10 МГц.

Тип КК	Диаметр проводника внешний/внутренний, мм	Рекомендация МСЭ-Т	Рабочая полоса частот, МГц
Мини-КК	0.7 / 2.9	G.621	0.2...20
Малогабаритный КК	1.2 / 4.4	G.622	0.06...70
Нормализованный КК	2.6 / 9.5	G.623	0.06...300

В настоящее время выпускается широкая номенклатура кабелей, отличающихся в зависимости от назначения, области применения, условий прокладки и эксплуатации и пр.



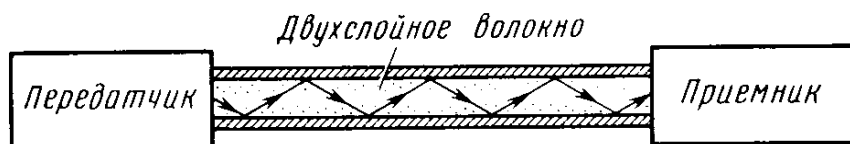
Пример конструкции кабеля для магистральной сети КМБ-8/7. В конструкции кабеля предусмотрено несколько коаксиальных цепей разного типа, несколько симметричных пар, а также отдельные изолированные жилы. Последние обычно используются для технологических целей.

**Воздушные ЛС** (ВЛС) не имеют изолирующего покрытия между проводниками, роль изолятора играет слой воздуха. Проводники выполняются, в основном, из биметаллической сталемедной (сталеалюминевой) проволоки. Внутренний диаметр стальной проволоки обычно составляет 1.2...4 мм, толщина внешнего слоя меди (алюминия) – 0.04...0.2 мм. Проволока подвешивается на деревянных или железобетонных опорах с помощью фарфоровых изоляторов. Используемый частотный диапазон ВЛС не превышает 150 кГц.

## Волоконно-оптические линии связи

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с линиями связи на основе металлических кабелей. К ним относятся: большая пропускная способность, малое затухание, малые масса и габариты, высокая помехозащищенность, надежная техника безопасности, практически отсутствующие взаимные влияния, малая стоимость из-за отсутствия в конструкции цветных металлов.

В ВОЛС применяют электромагнитные волны оптического диапазона. Напомним, что видимое оптическое излучение лежит в диапазоне длин волн 380...760 нм. Практическое

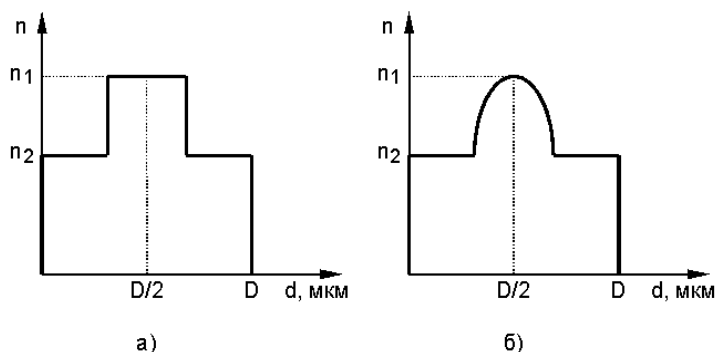


применение в ВОЛС получил инфракрасный диапазон, т.е. излучение с длиной волны более 760 нм.

### Принцип

распространения оптического излучения вдоль оптического волокна (ОВ) основан на отражении от границы сред с разными показателями преломления. Оптическое волокно изготавливается из кварцевого стекла в виде цилиндров с совмещенными осями и различными коэффициентами преломления. Внутренний цилиндр называется *сердцевиной* ОВ, а внешний слой – *оболочкой* ОВ.

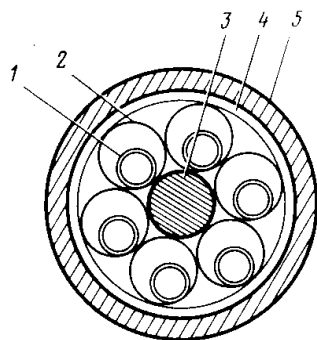
Угол полного внутреннего отражения, при котором падающее на границу двух сред излучение полностью отражается без проникновения во внешнюю среду, определяется соотношением  $\theta_{кр} = \arccos\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$ , где  $n_1$  - показатель преломления сердечника ОВ,  $n_2$  - показатель преломления оболочки ОВ, причем  $n_1 > n_2$ . Излучение должно вводиться в волокно под углом к оси меньшим  $\theta_{кр}$ .



В зависимости от вида профиля показателя преломления сердцевин различают *ступенчатые* и *градиентные* ОВ. У ступенчатых ОВ показатель преломления сердцевин постоянен (Рис. а). У градиентных ОВ показатель преломления сердцевин плавно меняется вдоль радиуса от максимального значения на оси до значения показателя преломления оболочки (Рис б).

В ОВ может одновременно существовать несколько типов волн (мод). В зависимости от модовых характеристик ОВ со ступенчатым профилем преломления делятся на два вида: *многомодовые* и *одномодовые*.

Количество мод зависит от значения нормированной частоты  $V = \frac{D\pi}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ , где  $D$  – диаметр сердцевин ОВ,  $\lambda$  – рабочая длина волны. Одномодовый режим реализуется при  $V < 2,405$ . Заранее определенными и сравнительно малыми величинами являются рабочая длина волны и разность показателей преломления  $\delta_n = n_1 - n_2$ . Обычно ОВ изготавливают с величиной  $\delta_n = 0,003 \dots 0,05$ . Поэтому диаметр сердцевин одномодовых волокон также является малой величиной и составляет 5...15 (обычно 9 или 10) мкм.



Для многомодовых волокон диаметр сердцевин составляет около 50 (обычно 50 или 62,5) мкм. Диаметр оболочки у всех типов ОВ 125 мкм. Диаметр защитного покрытия - 500 мкм. Наружный диаметр кабеля с числом ОВ от 2..32 с учетом всех защитных оболочек и элементов обычно составляет 5..17мм.

Конструкция оптического кабеля: 1 - ОВ, 2 - полиэтиленовая трубка, 3 - силовой элемент, 4 и 5 - соответственно внутренняя и внешняя полиэтиленовые оболочки.



Затухание ОВ неоднородно для разных длин волн. Зависимость коэффициента затухания ОВ от рабочей длины волны приведена на рисунке. Данная зависимость имеет три минимума, называемые *окнами прозрачности*. Исторически первым было освоено первое окно прозрачности на рабочей длине волны 0.85 мкм. Современные системы связи обычно используют второе или третье окно с малыми коэффициентами затухания. Современная технология позволяет получить ОВ с коэффициентом затухания порядка сотых долей дБ/км.

## Радиолинии



В радиолиниях средой распространения электромагнитных волн в подавляющем большинстве случаев (за исключением случая связи между космическими аппаратами) является атмосфера Земли.

Радиолиния может состоять из двух оконечных и нескольких промежуточных переприемных станций. Типичным примером таких радиолиний являются линии сетей передачи сообщений массового характера (сети телевизионного и радиовещания). Так строятся линии радиорелейных систем передачи.

Вид радиоволн	Тип радиоволн	Диапазон радиоволн (длина волны)	Номер диапазона	Диапазон частот	Вид радиочастот
Мириа-метровые	Сверх-длинные	10..100 км	4	3..30 кГц	Очень низкие (ОНЧ)
Кило-метровые	Длинные	1..10 км	5	30..300 кГц	Низкие (НЧ)
Гекто-метровые	Средние	100..1000 м	6	300..3000 кГц	Средние (СЧ)
Дека-метровые	Короткие	10..100 м	7	3..30 МГц	Высокие (ВЧ)
Метровые		1..10 м	8	30..300 МГц	Очень высокие (ОВЧ)
Деци-метровые	Ультра-короткие	10..100 см	9	300..3000 МГц	Ультравысокие (УВЧ)
Сантиметровые		1..10 см	10	3..30 ГГц	Сверхвысокие (СВЧ)
Миллиметровые		1..10 мм	11	30..300 ГГц	Крайневысокие (КВЧ)
Децимиллиметровые		0.1..1 мм	12	300..3000 ГГц	Гипервысокие (ГВЧ)

Радиоволны, излучаемые передающей антенной, прежде чем попасть в приемную антенну, проходят в общем случае сложный путь. На величину напряженности поля в точке приема оказывает влияние множество факторов. Основные из них:

- отражение электромагнитных волн от поверхности Земли;
- преломление (отражение) в ионизированных слоях атмосферы (ионосфере);
- рассеяние на диэлектрических неоднородностях нижних слоев атмосферы (тропосфере);
- дифракция на сферической выпуклости Земли;

Также напряженность поля в точке приема зависит от длины волны, освещенности земной атмосферы Солнцем и ряда других факторов.

Вид радиоволн	Основные способы распространения радиоволн	Дальность связи
Мириаметровые и километровые (сверхдлинные и длинные)	Дифракция	До тысячи км
	Отражение от Земли и ионосферы	Тысячи км
Гектометровые (средние)	Дифракция	Сотни км
	Преломление в ионосфере	Тысячи км
Декаметровые (короткие)	Преломление в ионосфере и отражение от Земли	Тысячи км
Метровые и более короткие	Свободное распространение и отражение от Земли	Десятки км
	Рассеяние в тропосфере	Сотни км

## Канал тональной частоты и линии связи

Систему телекоммуникаций для связи  $2^x$  абонентов можно представить в виде:



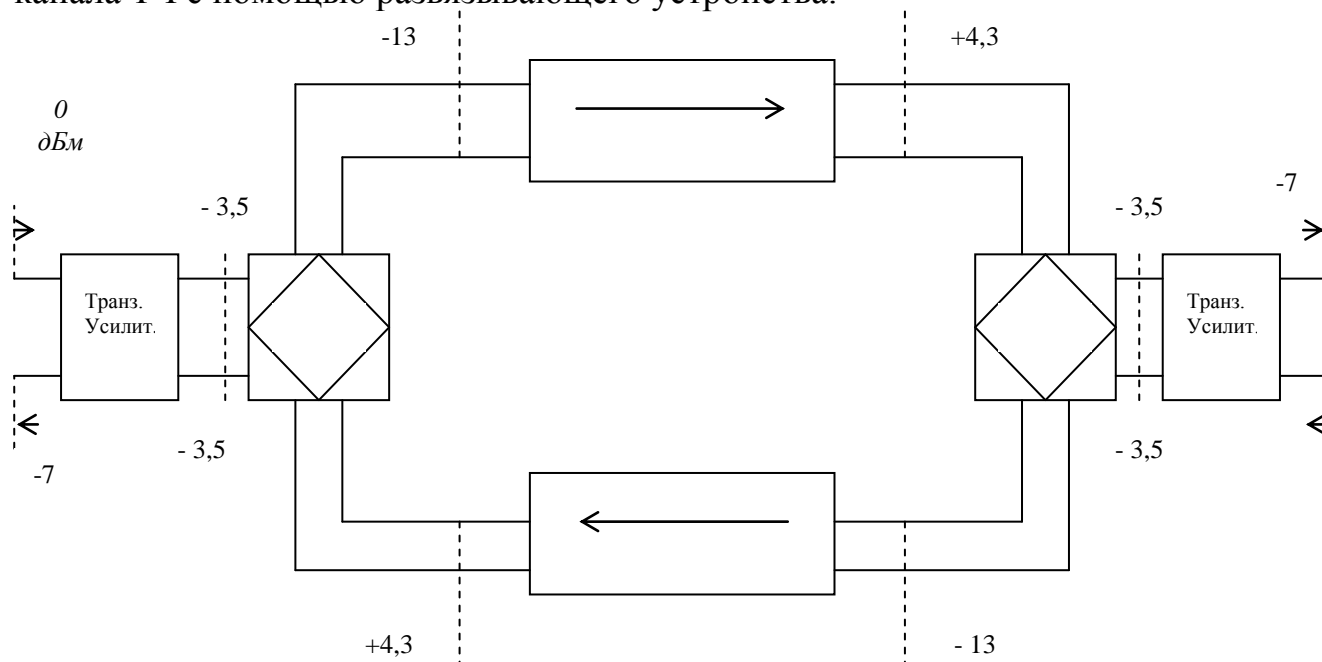
Такая дуплексная связь между абонентами может работать только на коротких расстояниях, т.к. при распространении электрического сигнала по линии связи он затухает. Поэтому, для увеличения дальности связи включают устройства одностороннего действия – усилители.

Двухпроводный однополосный канал является односторонним – симплексным.

Для организации одного дуплексного канала необходимо два симплексных (отдельно приём и передача).

Организованный таким образом канал ТЧ является  $4^x$  проводным. В связи с этим используется термин  $4^x$  проводное окончание канала (аналог – мобильный телефон).

От стационарного телефонного аппарата отходит 2 провода. Следовательно. Необходимо соединить  $2^x$  проводные аппараты с  $4^x$  проводным окончанием канала ТЧ с помощью развязывающего устройства.



Выходы и входы канала ТЧ после развязывающего устройства принято называть  $2^x$  проводным окончанием канала ТЧ. Такой канал включает в себя двухпроводное окончание и четырехпроводный тракт.

*Нормированные (номинальные) измерительные уровни* в стандартных точках канала ТЧ составляют: на входе канала 0 дБм, на выходе транзитного



удлинителя -3,5 дБм, на входе четырехпроводного тракта -13 дБм, на выходе четырехпроводного тракта +4,3 дБм, на входе транзитного удлинителя -3,5 дБм и на выходе канала -7 дБ.

(Устойчивость одиночной замкнутой системы – баланс фаз и амплитуд, запас устойчивости ОЗС -7 дБ).

Стандартный канал ТЧ является единицей измерения емкости систем передачи и используется для передачи телефонных сигналов, а также сигналов данных, факсимильной и телеграфной связи.

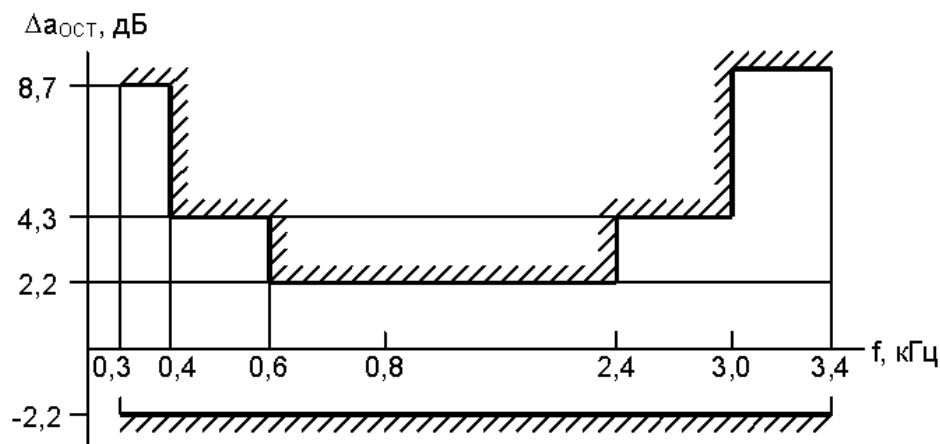
Любой канал связи характеризуется объёмом канала:  $V = \Delta F D_k T$ , где  $\Delta F$  – эффективно передаваемая полоса частот,  $D_k$  – динамический диапазон канала,  $T$  – время действия канала.

Входное  $Z_{ВХ}$  и выходное  $Z_{ВЫХ}$  сопротивления канала ТЧ равны 600 Ом. Отклонение входного и выходного сопротивлений от номинального  $Z_H$  оценивается коэффициентом отражения  $\rho_{отр} = \left| \frac{Z_H - Z_P}{Z_H + Z_P} \right|$  или затуханием отражения

$a_{отр} = 10 \lg \left| \frac{Z_H - Z_P}{Z_H + Z_P} \right|$ , где  $Z_P$  - реальное значение сопротивления. Значение  $\rho_{отр}$  не должно превышать 10%.

Остаточное затухание канала. Это есть величина, равная разности суммы затуханий и суммы усиления в канале:  $a_{ост} = \sum a - \sum S$ . Остаточное затухание канала ТЧ составляет 7 дБ.

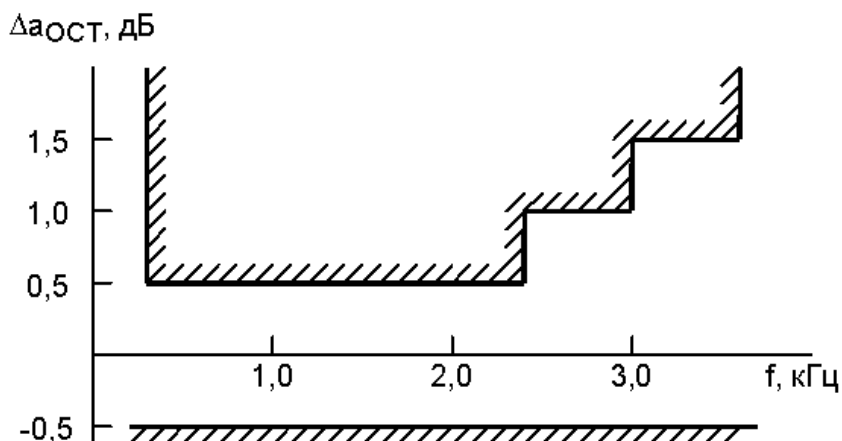
Эффективно передаваемая полоса частот канала ТЧ - полоса, на крайних частотах которой (0,3 и 3,4 кГц) остаточное затухание на 8,7 дБ превышает



остаточное затухание на частоте 800 Гц. Частотная характеристика отклонения канала ТЧ от номинала 7 дБ должна оставаться в пределах шаблона при максимальном числе транзитов, (12 передаточных участков).

Шаблон отклонения остаточного затухания аналогового канала ТЧ

Стандартные каналы ТЧ, организованные с помощью *цифровых и оптических* систем передачи, являются более высококачественными. Для цифрового канала условия равномерности АЧХ более жёсткие:



Шаблон отклонений остаточного затухания цифрового канала ТЧ

Коэффициент нелинейных искажений канала ТЧ на одном транзитном участке не должен превышать 1,5% (1% по третьей гармонике) при номинальном уровне передачи тока частотой 800 Гц.  $K_H = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots}}$ , где  $U_1$  – амплитуда 1 гармоники,  $U_2 \dots U_N$  – амплитуды соответствующих гармоник.

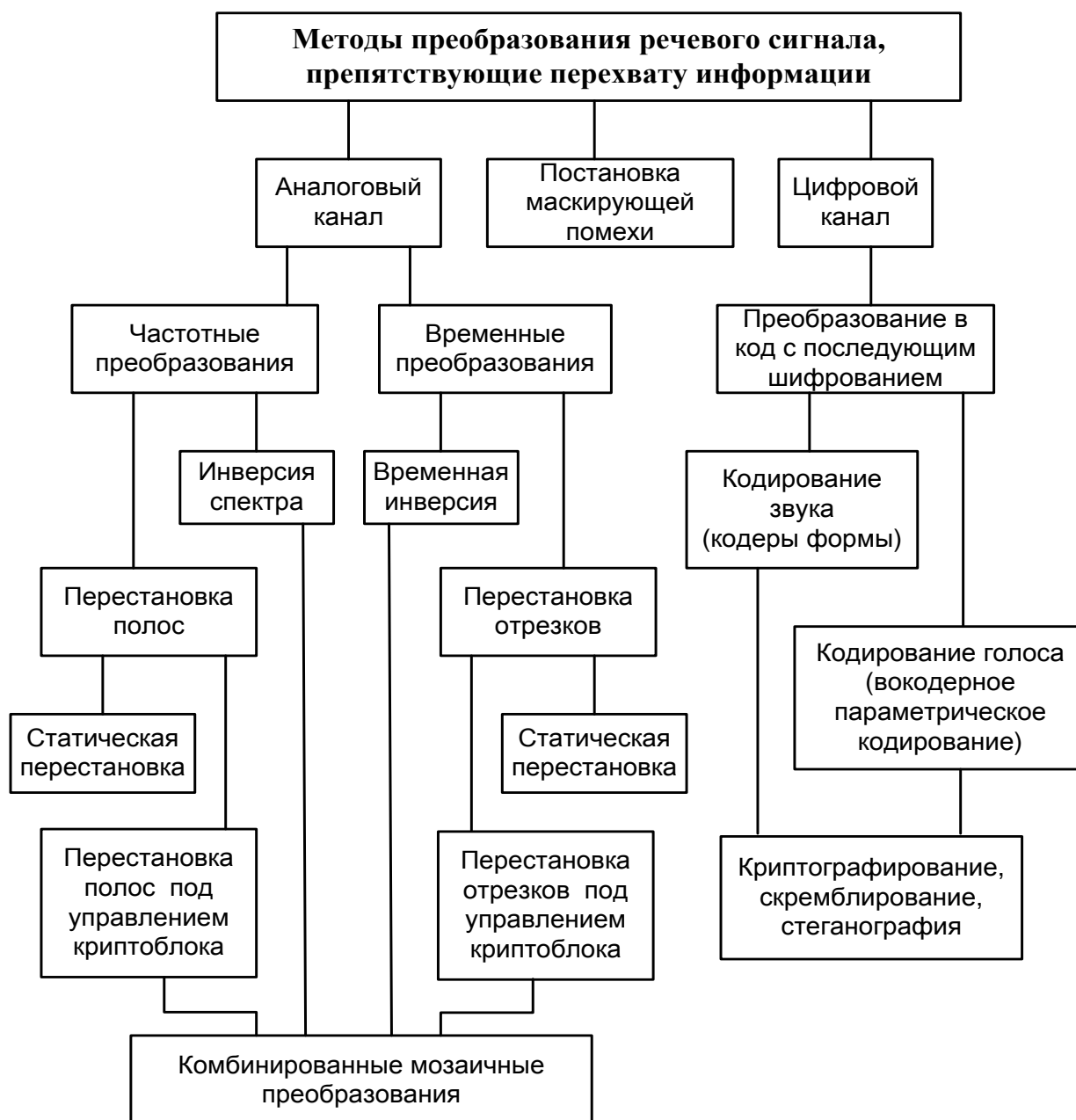
Амплитудная характеристика при этом нормируется следующим образом: остаточное затухание канала на одном транзитном участке должно оставаться постоянным с точностью 0,3 дБ при изменении уровня измерительного сигнала от -17,5 дБ до +3,5 дБ в точке с нулевым измерительным уровнем на любой частоте в пределах 0,3... 3,4 кГц (измеряется на частоте 800 Гц). При повышении уровня измерительного сигнала до 8,7 и 20 дБ остаточное затухание может увеличиться до 1,75 и 7,8 дБ соответственно (графики).

Помехи в каналах ТЧ. На выходе канала ТЧ кроме информационного сигнала присутствуют помехи, которые определяются на приемном конце в точке с относительным уровнем -7 дБ. Средняя величина псофометрического (взвешенного) напряжения помех в канале в течение любого часа на одном переприемном участке длиной 2500 км не должна превышать 1,1 мВпсоф (10000 пВт псоф в точке относительного нулевого уровня).

## Защита речи в телефонных каналах

Существуют следующие виды "телефонных угроз", или основные пути утечки речевой информации, при использовании телефонных сетей общего пользования (ТфСОП):

- 1) Контактное подключение аппаратуры перехвата к кабельным линиям связи, то есть непосредственное параллельное подсоединение к линии.
- 2) Бесконтактный съём информации, при котором используется индуктивный канал перехвата, не требующий контактного подключения к каналам связи.
- 3) Запись телефонных переговоров с использованием средств АТС или уязвимости каналов передачи речевой информации от одной АТС к другой.
- 4) Получение речевой информации из помещения, где ведутся телефонные переговоры, по техническим каналам утечки информации.



Средства защиты телефонных переговоров условно можно разделить на несколько групп:

### **1. Пассивные средства защиты (ПСЗ)**

Аппаратура данного типа предотвращает перехват речевой информации, осуществляемый:

- методом ВЧ-навязывания;
- из-за утечек микро-ЭДС звонковой цепи;
- с помощью микрофонов, передающих речевую информацию по телефонной линии в длинноволновом диапазоне.

Недостатки применения этих средств:

- ПСЗ не защищают от остальных способов перехвата информации;
- возможно резкое понижение защитных свойств аппаратуры при активных методах воздействия.

### **2. Аппаратура определения подключения к телефонной линии средств НСД**

Устройства, относящиеся к данной группе, определяют подключение к линии средств съема информации по следующим признакам:

- отклонению напряжения в линии от эталонного значения;
- изменению характера комплексного сопротивления линии (дополнительная нелинейность);
- появлению новых неоднородностей в линии.

Недостатки применения анализаторов:

- отсутствие четких критериев оценки несанкционированного подключения;
- высокая вероятность ложных срабатываний;
- невозможность определить все виды съема информации. (Хотя и существует теоретическая возможность установить тип устройства бесконтактного подключения к линии (емкостной или индуктивный датчик), сделать это на практике достаточно сложно.)

### **3. Устройства постановки маскирующей помехи (УППМ)**

Данные приборы используют следующие способы нарушения нормальной работы средств несанкционированного съема информации:

- синусоидальный сигнал с диапазоном частот  $20 \div 70$  кГц и амплитудой  $12 \div 50$  В, который подается в телефонную линию при разговоре и нарушает работу телефонных передатчиков, "размывая" спектр передаваемого сигнала и нарушая режим работы выходного каскада передатчика;
- метод высокочастотной маскирующей помехи – шумовой сигнал с диапазоном частот  $6 \div 10$  кГц и амплитудой  $\sim 5$  В;
- метод низкочастотной маскирующей помехи – шумовой сигнал с диапазоном частот  $300 \div 3400$  Гц и амплитудой  $\sim 2$  В. Данный сигнал подается в телефонную линию при положенной трубке и, воздействуя на

систему активации записи диктофонов, заставляет их записывать только шум в промежутках между переговорами. Препятствует работе выносных микрофонов, использующих телефонную линию для передачи информации при положенной трубке, маскирует сигналы, возникающие из-за микрофонного эффекта.

Метод высокочастотной маскирующей помехи реализован в приборах SP-17/D, КТЛ-3, КТЛ-400, "Ком-32", "Прокруст", "Прокруст-2000", "Гром-ЗИ-6", "Протон" и др. Метод низкочастотной маскирующей помехи применяется в приборах "Прокруст", "Соната 2AB", "Протон", "Кзот-06" и др.

Недостатки устройств постановки маскирующей помехи:

- наличие шумов в телефонной трубке;
- защита речевой информации только того абонента, у которого установлено УППИ;
- отсутствие сертификата Минсвязи РФ у большинства устройств;
- высокая стоимость.

#### ***4. Аппаратура уничтожения средств съема информации с телефонной линии***

Следует отметить, что аппаратура данного класса представлена только на российском рынке, среди продукции зарубежных компаний такие устройства отсутствуют.

Приборы этой группы выдают в телефонную линию один или несколько коротких импульсов высокого напряжения ( $1500 \div 2000\text{В}$ ). Воздействие такого напряжения на полупроводниковые элементы выводит их из строя, в результате чего схемы средств съема информации перестают функционировать.

#### ***5. Аппаратура криптографической защиты***

В зависимости от способа передачи информации можно выделить два основных метода закрытия речевого сигнала: аналоговое засекречивание и цифровое, или выделение параметров Р.С., с последующим шифрованием. В первом случае в канале связи – аналоговый сигнал с фрагментами Р.С., во втором – цифровой сигнал с выхода модема.

При аналоговом засекречивании реализуется два основных способа преобразования речевых сигналов: частотные и временные перестановки. Наиболее высокий уровень закрытия получается при использовании одновременно обоих способов в сочетании с частотной инверсией. При этом характеристики Р.С. меняются таким образом, что преобразованный сигнал занимает ту же частотную полосу ( $0,3 \div 3,4\text{ кГц}$ ). Это позволяет передавать его по каналам связи в обычном режиме.

На российском рынке широкое распространение получили устройства криптографической защиты аналогового типа с частотными и временными

перестановками серии SCR-M1.2, скремблеры семейства "Грот", мозаичные скремблеры M28800 и "Орех-А", а также приборы динамической инверсии спектра ACS-2.

Преимущества аппаратуры аналогового типа:

- высокая степень защиты информации, передаваемой как на всем протяжении линии связи ("абонент - абонент"), так и на участке "последней мили" ("абонент - АТС");
- защита как речевых, так и факсимильных сообщений;
- возможность работы с любыми телефонными аппаратами и различными АТС;
- простота в управлении при переходе в закрытый режим связи.

Цифровой способ кодирования информации более устойчив к раскрытию. Сигнал предварительно преобразуется в цифровой вид, а затем кодируется с использованием специальных криптографических алгоритмов. Главная проблема при работе с аппаратами данного класса, состоит в достижении высокого качества синтезированного Р.С. при реальных скоростях его передачи по каналу связи, составляющих  $2400 \div 9600$  бит/с.

Эти факторы, а также условие обязательной сертификации в ФАПСи затрудняют распространение данных устройств на российском рынке. На сегодняшний день можно выделить следующие продукты коммерческого применения: VoiceCoder-2400, СКР-511, "РЕФЕРЕНТ".

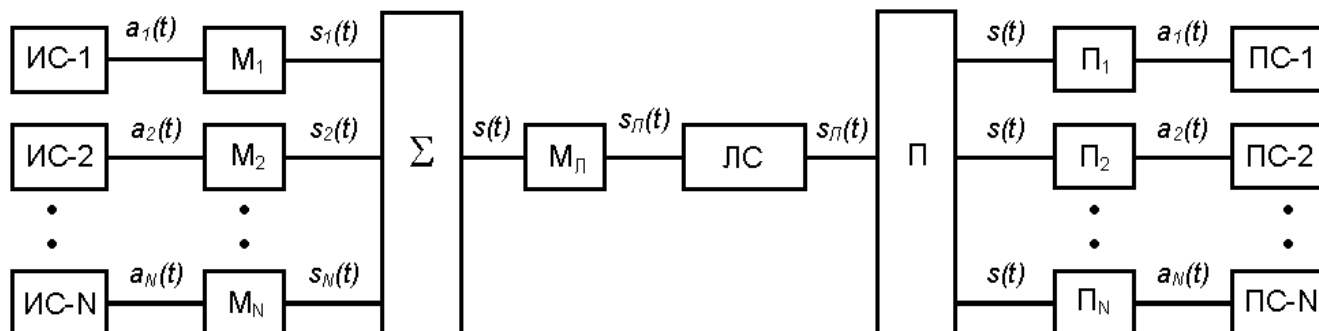
К преимуществам аппаратуры цифрового типа относится высокая степень защиты и гарантированная криптографическая стойкость.

Недостатком устройств данного класса является неустойчивая работа на двухпроводных телефонных линиях среднего и низкого качества.

На сегодняшний день для коммерческого применения в условиях России оптимально использование аналоговых засекречивающих устройств мозаичного типа.

## МНОГОКАНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

Для разделения каналов каждому источнику сообщения выделяется специальный сигнал, называемый канальным. Промодулированные сообщениями канальные сигналы объединяются, образуя групповой сигнал. Многоканальные системы образуются путем объединения индивидуальных каналов в групповой.



Структурная схема систем многоканальной связи

Реализация сообщений каждого источника  $a_1(t)$ ,  $a_2(t)$ , ...,  $a_N(t)$  с помощью индивидуальных передатчиков (модуляторов)  $M_1$ ,  $M_2$ , ...,  $M_N$  преобразуются в соответствующие канальные сигналы  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$ , ...,  $s_N(t)$ . Совокупность канальных сигналов на выходе суммирующего устройства  $\Sigma$  образует групповой сигнал  $s(t)$ . Наконец, в групповом передатчике  $M$  сигнал  $s(t)$  преобразуется в линейный сигнал  $s_{\Pi}(t)$ , который и поступает в линию связи ЛС. Допустим, что линия пропускает сигнал практически без искажений и не вносит шумов. Тогда на приемном конце линии связи линейный сигнал  $s_{\Pi}(t)$  с помощью группового приемника  $\Pi$  может быть вновь преобразован в групповой сигнал  $s(t)$ . Канальными или индивидуальными приемниками  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$ , ...,  $\Pi_N$  из группового сигнала  $s(t)$  выделяются соответствующие канальные сигналы  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$ , ...,  $s_N(t)$  и затем преобразуются в предназначенные получателям сообщения  $a_1(t)$ ,  $a_2(t)$ , ...,  $a_N(t)$ .

Канальные передатчики вместе с суммирующим устройством образуют аппаратуру объединения. Групповой передатчик  $M$ , линия связи ЛС и групповой приемник  $\Pi$  составляют групповой канал связи (тракт передачи), который вместе с аппаратурой объединения и индивидуальными приемниками составляет систему многоканальной связи.

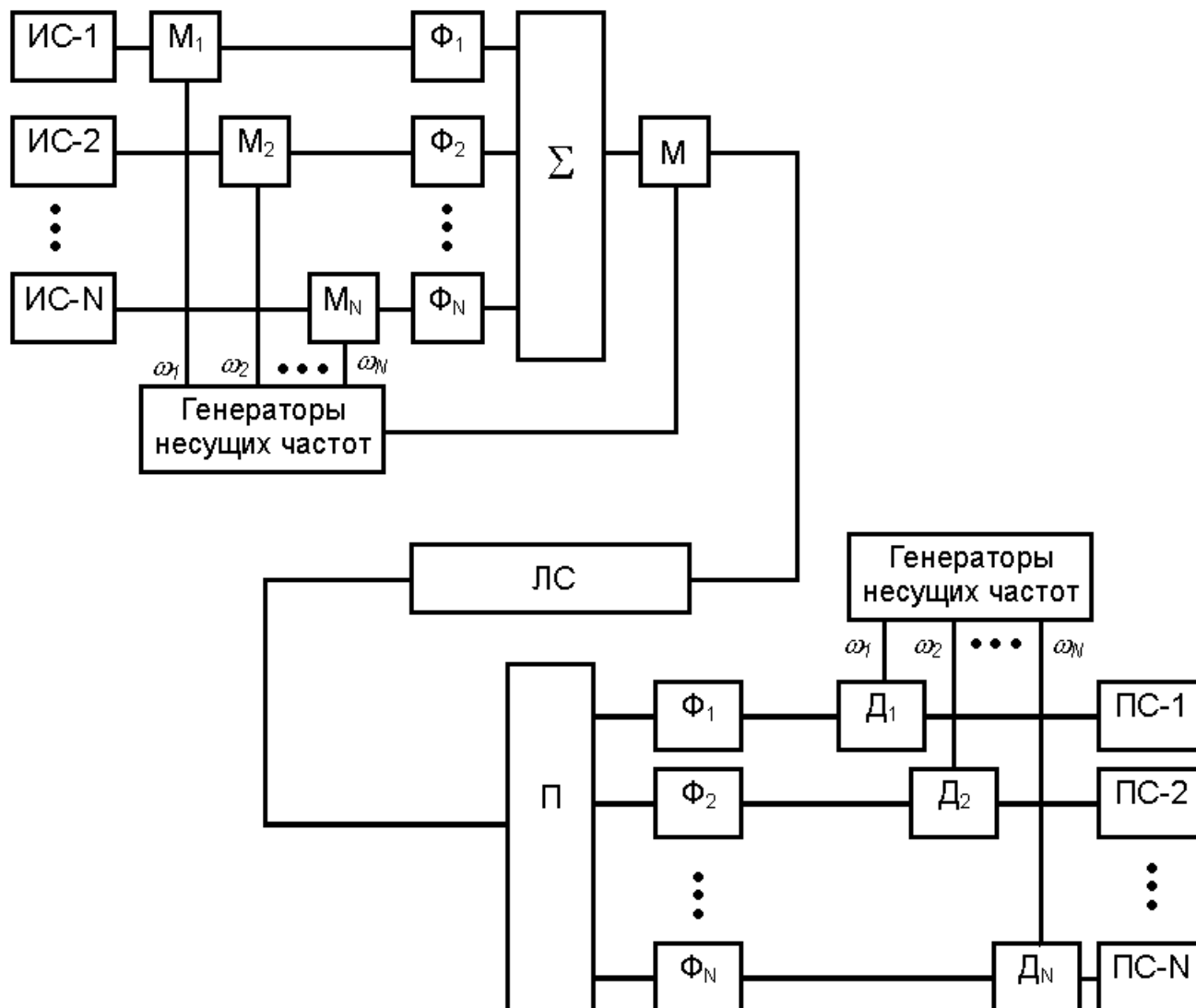
Индивидуальные приемники системы многоканальной связи  $\Pi_K$  наряду с выполнением обычной операции преобразования сигналов  $s_K(t)$  в соответствующие сообщения  $a_K(t)$  должны обеспечить выделение сигналов  $s_K(t)$  из группового сигнала  $s(t)$ . Иначе говоря, в составе технических устройств на передающей стороне многоканальной системы должна быть предусмотрена аппаратура объединения, а на приемной стороне - аппаратура разделения.

Чтобы разделяющие устройства были в состоянии различать сигналы отдельных каналов, должны существовать определенные признаки, присущие только данному сигналу. Такими признаками в общем случае могут быть параметры переносчика, например амплитуда, частота или фаза в случае непрерывной модуляции гармонического переносчика. При дискретных видах модуляции различающим признаком может служить и форма сигналов.

Соответственно различают способы разделения сигналов: частотный, временной, кодовый.

## ЧАСТОТНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ СИГНАЛОВ

В зарубежных источниках для обозначения принципа частотного разделения каналов (ЧРК) используется термин Frequency Division Multiply Access (FDMA).

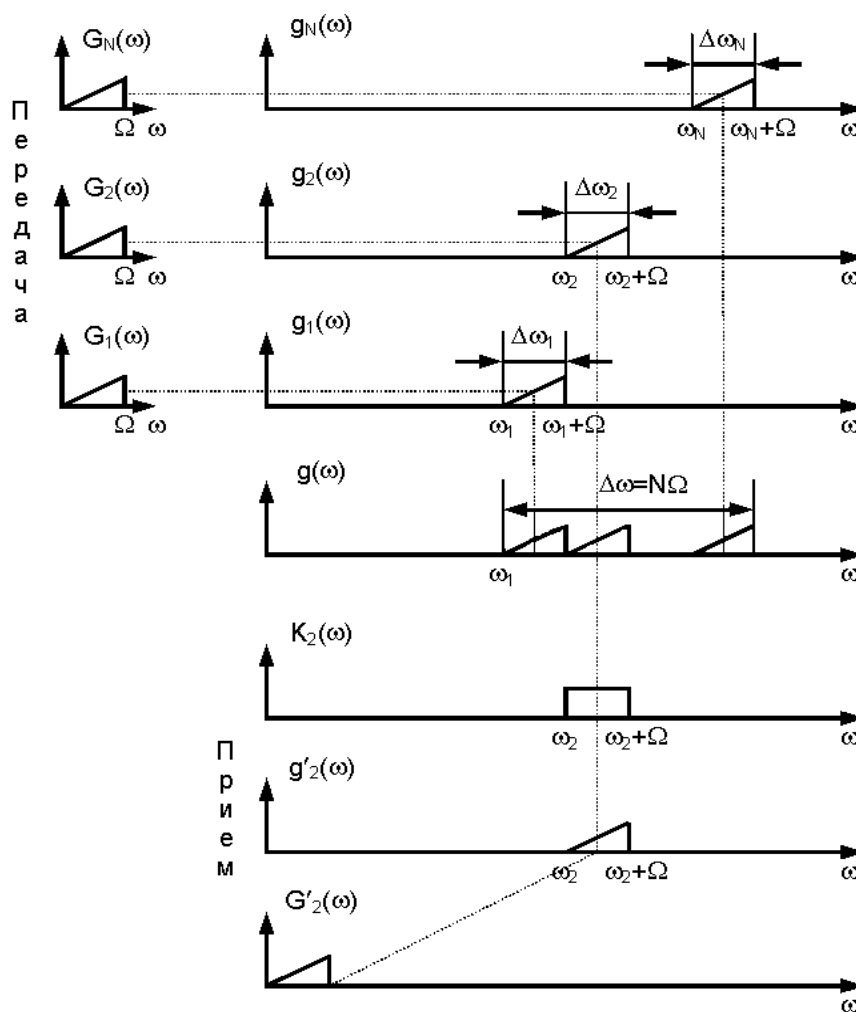


Функциональная схема системы многоканальной связи с частотным разделением каналов

Сначала в соответствии с передаваемыми сообщениями первичные (индивидуальные) сигналы, имеющие энергетические спектры  $G_1(\omega)$ ,  $G_2(\omega)$ , ...,  $G_N(\omega)$  модулируют поднесущие частоты  $\omega_k$  каждого канала. Эту операцию выполняют модуляторы  $M_1$ ,  $M_2$ , ...,  $M_N$  канальных передатчиков. Полученные на выходе частотных фильтров  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ , ...,  $\Phi_N$  спектры  $g_k(\omega)$  канальных сигналов занимают соответственно полосы частот  $\Delta\omega_1$ ,  $\Delta\omega_2$ , ...,  $\Delta\omega_N$ , которые в общем случае могут отличаться по ширине от спектров сообщений  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$ , ...,  $\Omega_N$ . При широкополосных видах модуляции, например, ЧМ ширина спектра  $\Delta\omega \approx 2(\beta + 1) \Omega_k$ , т.е. в общем случае  $\Delta\omega \geq \Omega_k$ . Для упрощения будем считать, что используется АМ-ОБП (как это принято в аналоговых СП с ЧРК), т.е.  $\Delta\omega_k = \Omega$  и  $\Delta\omega = N\Omega$ .

Проследим основные этапы образования сигналов, а также изменение этих сигналов в процессе передачи.





### Преобразование спектров в системе с частотным разделением каналов

Будем полагать, что спектры индивидуальных сигналов конечны. Тогда можно подобрать поднесущие частоты  $\omega_k$  так, что полосы  $\Delta\omega_1, \dots, \Delta\omega_k$  попарно не перекрываются. При этом условии сигналы  $s_k(t)$  ( $k=1, \dots, N$ ) взаимноортогональны.

Затем спектры  $g_1(\omega), g_2(\omega), \dots, g_N(\omega)$  суммируются ( $\Sigma$ ) и их совокупность  $g(\omega)$  поступает на групповой модулятор (М). Здесь спектр  $g(\omega)$  с помощью колебания несущей частоты  $\omega_0$  переносится в область частот, отведенную для передачи данной группы каналов, т.е. групповой сигнал  $s(t)$  преобразуется в линейный сигнал  $s_{\text{л}}(t)$ . При этом может использоваться любой вид модуляции.

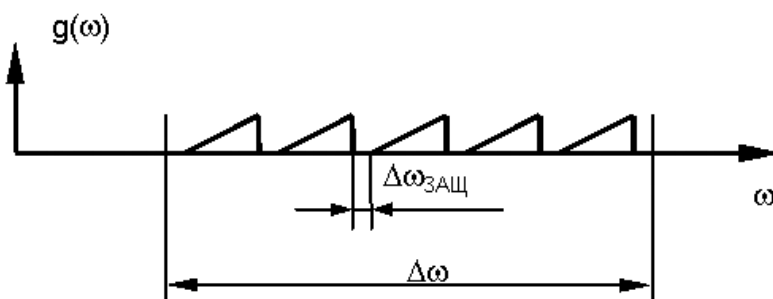
На приемном конце линейный сигнал поступает на групповой демодулятор (приемник П), который преобразует спектр линейного сигнала в спектр группового сигнала  $g'(\omega)$ . Спектр группового сигнала затем с помощью частотных фильтров  $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N$  вновь разделяется на отдельные полосы  $\Delta\omega_k$ , соответствующие отдельным каналам. Наконец, каналные демодуляторы Д преобразуют спектры сигналов  $g_k(\omega)$  в спектры сообщений  $G'_k(\omega)$ , предназначенные получателям.

Из приведенных пояснений легко понять смысл частотного способа разделения каналов. Поскольку всякая реальная линия связи обладает ограниченной полосой пропускания, то при многоканальной передаче каждому отдельному каналу отводится определенная часть общей полосы пропускания.

На приемной стороне одновременно действуют сигналы всех каналов, различающиеся положением их частотных спектров на шкале частот. Чтобы без взаимных помех разделить такие сигналы, приемные устройства должны содержать частотные фильтры. Каждый из фильтров  $\Phi_k$  должен пропустить без ослабления лишь те частоты  $\omega \in \Delta\omega_k$ , которые принадлежат сигналу данного канала; частоты сигналов всех других каналов  $\omega \notin \Delta\omega_k$  фильтр должен подавить.

На практике это невыполнимо. Результатом являются взаимные помехи между каналами. Они возникают как за счет неполного сосредоточения энергии сигнала  $k$ -го канала в пределах заданной полосы частот  $\Delta\omega_k$ , так и за счет неидеальности реальных полосовых фильтров. В реальных условиях приходится учитывать также взаимные помехи нелинейного происхождения, например за счет нелинейности характеристик группового канала.

Для снижения переходных помех до допустимого уровня приходится вводить защитные частотные интервалы  $\Delta\omega_{\text{з.щ.}}$ .



Спектр группового сигнала с защитными интервалами

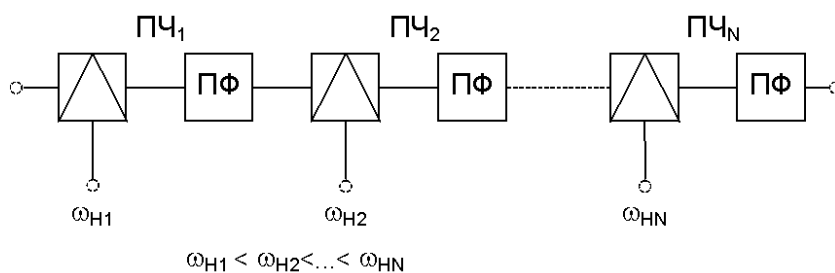
Так, например, в современных системах многоканальной телефонной связи каждому телефонному каналу выделяется полоса частот 4 кГц, хотя частотный спектр передаваемых звуковых сигналов ограничивается полосой от 300 до 3400 Гц, т.е. ширина спектра телефонного сигнала составляет 3,1 кГц. Между полосами частот соседних каналов предусмотрены интервалы шириной по 0,9 кГц, предназначенные для снижения уровня взаимных помех при расфилтровке сигналов. Это означает, что в многоканальных системах связи с частотным разделением сигналов эффективно используется лишь около 80% полосы пропускания линии связи. Кроме того, необходимо обеспечить высокую степень линейности всего тракта группового сигнала.

### Формирование стандартных групповых сигналов

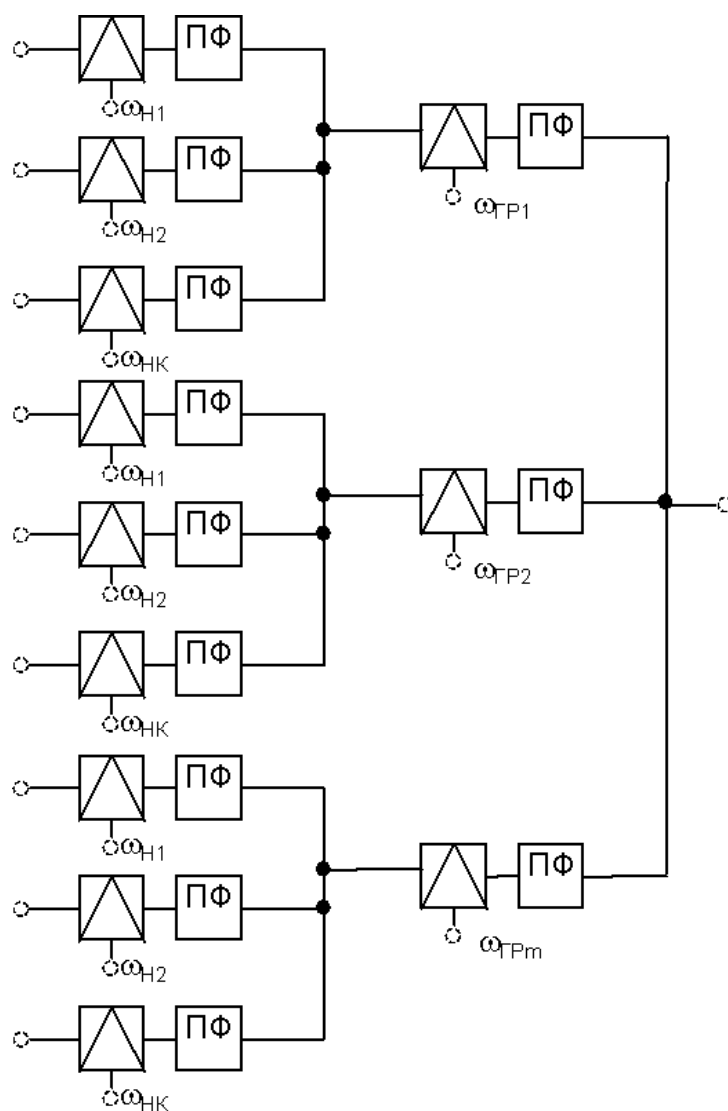
Для организации по одной линии передачи большого числа каналов в аналоговых системах передачи используют метод ЧРК и АМ для формирования отдельных канальных сигналов. Наиболее сложным блоком амплитудных модуляторов и демодуляторов является полосовой фильтр. В ряде случаев (при высоких значениях несущей частоты) ширина полосы расфилтровки оказывается настолько малой, что выполнение высокочастотных фильтров оказывается затруднено, а иногда невозможно. В этих случаях по экономическим соображениям, в том числе с целью уменьшения количества типов используемых фильтров, объединение канальных сигналов в групповой осуществляется методом *многократного преобразования частоты*.

При многократном преобразовании сигнал проходит последовательно через несколько преобразователей частоты (ПЧ) с различными несущими частотами. Абсолютная ширина полосы расфилтровки на выходе каждого последующего ПЧ больше, чем на выходе

предыдущего, что позволяет увеличивать значение несущих частот без уменьшения относительной ширины полосы расфилтровки.



### Множественное преобразование частоты



### Групповое преобразование частоты

Однако, общее число преобразователей и, следовательно, общее число разнотипных фильтров оказывается очень большим. В N-канальной системе число фильтров и их типов равно  $Nn$ , где  $n$  - число ступеней преобразования. Число фильтров и их типов можно уменьшить, если дополнить множественное преобразование *групповым*, при котором преобразованию подвергается групповой сигнал. С этой целью  $N$  каналов разбивается на  $m$  групп по  $K$  каналов, т.е.  $Km=N$ . В каждой группе сигнал каждого канала подвергается

индивидуальному преобразованию с помощью несущих частот  $\omega_{H1}, \omega_{H2}, \dots, \omega_{HK}$ . Во всех группах преобразование однотипно, поэтому на выходе каждой группы образуется один и тот же спектр частот. Полученные групповые спектры подвергаются затем групповому преобразованию с несущими  $\omega_{ГР1}, \omega_{ГР2}, \dots, \omega_{ГРm}$ , так что после объединения преобразованных групповых сигналов образуется спектр частот  $N$  каналов. В рассматриваемом случае общее число фильтров равно  $N + m \cdot n_{ГР}$ , а число типов фильтров сокращается до  $K + m \cdot n_{ГР}$ , где  $n_{ГР}$  - число групповых ступеней преобразования.

Таким образом, применение многократного и группового преобразования позволяет унифицировать фильтровое оборудование системы, т.е. уменьшить его разнотипность. Такая унификация повышает технологичность изготовления узлов аппаратуры и, в конечном счете, удешевляет ее.

Кроме того, применение группового преобразования и стандартизации методов формирования групп каналов позволяет унифицировать часть оборудования различных систем. По этой причине МСЭ-Т были стандартизированы следующие основные группы каналов.

**Первичная группа** (ПГ) - 12 каналов ТЧ, спектр 60...108 кГц. Образуется однократным преобразованием с помощью несущих частот 64, 68, 72, ..., 108 кГц или двукратным преобразованием с помощью образования 4 трехканальных групп на несущих 12, 16, 20 кГц и их последующего преобразования на несущих 84, 96, 108, 120 кГц.

**Вторичная группа** (ВГ) - 60 каналов ТЧ, спектр 312...552 кГц. Образуется из 5 ПГ с помощью несущих 420, 468, 516, 564, 612 кГц. Возможность параллельной работы фильтров обеспечивается их подключением через развязывающий блок параллельной работы первичных групп (ПРПГ).

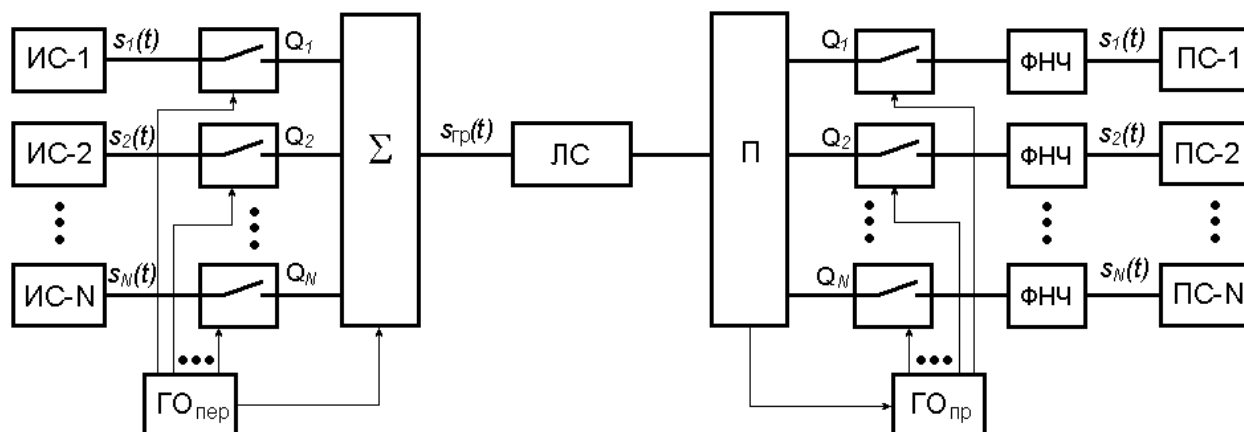
**Третичная группа** (ТГ) - 300 каналов ТЧ, спектр 812...2044 кГц. Образуется из 5 ВГ с помощью несущих  $(1364 + (n-1) \cdot 248)$  кГц, где  $n$  - номер ВГ в спектре ТГ.

**Четверичная группа** (ЧГ) - 900 каналов ТЧ, спектр 8516..12388 кГц. Образуется из 3 ТГ. Может также формироваться из 15 ВГ.

Совокупность преобразовательного оборудования всех групп носит название каналообразующей аппаратуры. Ее назначение заключается в преобразовании индивидуальных сигналов в групповой сигнал одной из стандартных групп. Использование каналообразующей аппаратуры позволяет строить оконечную аппаратуру систем передачи различной емкости на основе стандартного преобразовательного оборудования и, следовательно, создавать унифицированное техническое оборудование

## Временное разделение каналов

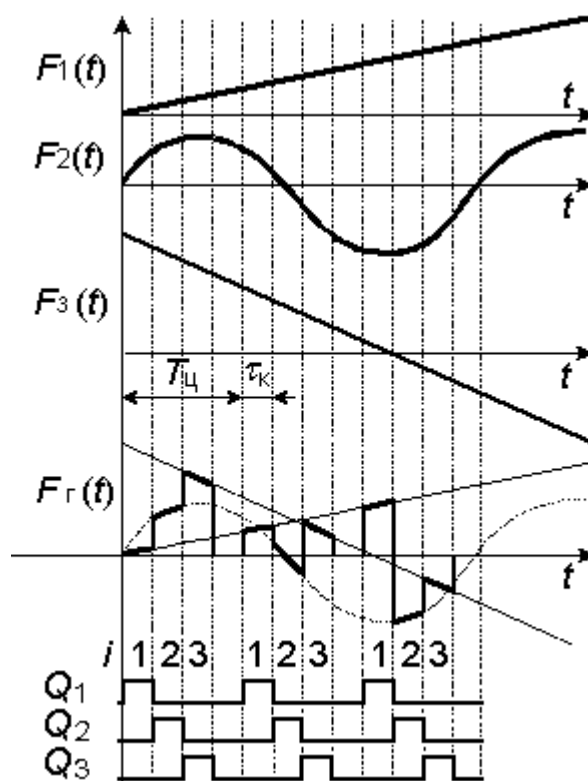
Принцип временного разделения каналов (ВРК – TDMA – Time Division Multiply Access) состоит в том, что весь групповой тракт предоставляется поочередно для передачи сигналов каждого канала многоканальной системы.



При передаче используется дискретизация во времени (импульсная модуляция). Сначала передается импульс 1-го канала, затем следующего канала и т.д. до последнего канала за номером  $N$ , после чего опять передается импульс 1-го канала и процесс повторяется периодически. На приеме устанавливается аналогичный коммутатор, который поочередно подключает групповой тракт к соответствующим приемникам. В определенный короткий промежуток времени к групповой линии связи оказывается подключена только одна пара передатчик-приемник.

Для нормальной работы многоканальной системы с ВРК необходима синхронная и синфазная работа коммутаторов на приемной и передающей сторонах. Для этого один из каналов занимают под передачу специальных импульсов синхронизации.

На рисунке приведены временные диаграммы, поясняющие принцип ВРК и графики трех непрерывных аналоговых сигналов  $F_1(t)$ ,  $F_2(t)$  и  $F_3(t)$  и соответствующие им АИМ-сигналы. Импульсы разных АИМ-сигналов сдвинуты друг относительно друга по времени на каналный интервал  $\tau_k$  (тайм-слот). Промежуток времени между соседними импульсами одного индивидуального сигнала называется циклом передачи  $T_{Ц}$ . При объединении индивидуальных каналов в канал (линии) связи образуется групповой сигнал с частотой следования импульсов в  $N$  раз большей частоты следования индивидуальных импульсов.



От соотношения  $q = T_{Ц} / \tau_k$  (называемого скважностью), зависит число импульсов, которое можно разместить в одном цикле, т.е. число каналов МСП.

В процессе формирования АИМ сигнала осуществляется дискретизация непрерывного (аналогового) сигнала во времени в соответствии с известной теоремой дискретизации (теоремой В.А. Котельникова): любой непрерывный сигнал, ограниченный по спектру верхней частотой  $F_B$  полностью определяется последовательностью своих дискретных отсчётов, взятых через промежуток времени  $T_d = 1/2F_B$ , называемый периодом дискретизации. В соответствии с ним частота дискретизации, т.е. следования дискретных отсчётов, выбирается из условия  $F_d \geq 2 F_B$ . Как правило  $F_d \approx 2,2F_{max}$ , (где  $F_{max}$  - максимальная частота спектра первичного сигнала).

Поскольку все реально существующие непрерывные сигналы связи представляют собой случайные процессы с бесконечно широким спектром, причем основная энергия сосредоточена в относительно узкой полосе частот, перед дискретизацией необходимо с помощью фильтра нижних частот ограничить спектр сигнала некоторой частотой  $F_B$ .

Так как основная доля энергии телефонных сигналов сосредоточена в спектральном диапазоне (0,3 ÷ 3,4) кГц, то для ограничения ширины спектра необходимо использовать ФНЧ с частотой среза  $F_B = 3,4$  кГц, следовательно, частота дискретизации телефонных сигналов должна быть выше  $2F_B = 6,8$  кГц. В соответствие с требованиями МСЭ-Т частота дискретизации телефонных сигналов выбрана равной  $F_d = 8$  кГц ( $T_d = 125$  мксек).

Для многоканальной передачи сигналов необходимо между соседними импульсами одного канала разместить по одному импульсу остальных каналов. Следовательно, при объединении  $N$  каналов длительность одного канального импульса  $\tau_k$  не должна превышать  $T_d/N$ . Отношение периода следования импульсов  $T_d$  к длительности самого импульса  $\tau_k$  называется скважностью  $q$ .

В многоканальных системах передачи с временным разделением каналов (ВРК) используется амплитудно-импульсная модуляция. В модели лабораторной работы (рис. 1.1) могут быть образованы четыре канала связи, на входы которых подаются непрерывные (аналоговые) сигналы  $S_1(t)$ ,  $S_2(t)$ ,  $S_3(t)$  и  $S_4(t)$ , один из которых оставляем свободным.

Дискретизация контрольного сигнала, например  $S_1(t)$ , соответствующего первому каналу, производится с помощью электронного ключа Q1, который выполняет функции амплитудно-импульсного модулятора (АИМ). Управляемые ключи Q1, Q2, Q3, Q4 периодически замыкаются на время  $\tau_k$  в моменты  $t_i$  ( $i = 1, 2 \dots N$ , где в данном случае  $N = 4$ ). При этом на выходе сумматора появляются импульсы группового сигнала  $S_{гр}(t)$ , амплитуда которых соответствует мгновенному значению  $S_N(t_i)$ .

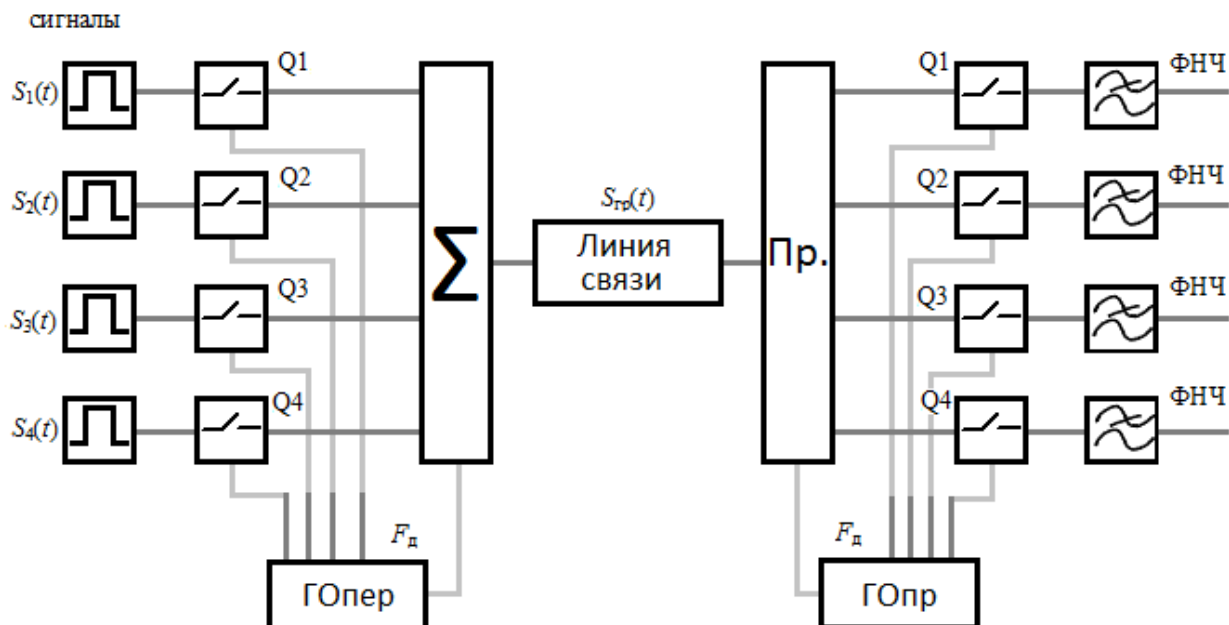


Рис.1.1. Многоканальная система передачи с ВРК

На входы ключей поступают аналоговые сигналы  $S_1(t)$ ,  $S_2(t)$ ,  $S_3(t)$  и  $S_4(t)$ , а на выходах формируются последовательности отсчетов  $S_{1i}$ ,  $S_{2i}$ ,  $S_{3i}$  и  $S_{4i}$ . Управляющие импульсы, поступающие на ключи соседних каналов, сдвинуты на временной интервал, соответствующий  $\tau_k$ . В результате мультиплексирования отсчеты отдельных каналов выстраиваются друг за другом и таким образом на выходе мультиплексора формируется групповой сигнал  $S_{гр}(t)$ . Электронный ключ модулятора  $Q_i$  управляется импульсами ГОпер. с частотой следования  $F_d$  (частота дискретизации) и длительностью  $\tau_k$ . Их период составляет  $T_d=1/F_d$  и определяет моменты времени  $t_i$ , в которые на выходе модулятора формируются отсчеты входного сигнала.

Объединение дискретных сигналов с АИМ, соответствующих этим каналам, осуществляется мультиплексором ( $\Sigma$ ).

Промодулированный по амплитуде импульс поступает в линию связи и, пройдя по ней, попадает на вход приёмника-регенератора (Пр.), компенсирующего искажения, внесённые линией связи. Управление модуляторами и ключами производится Генераторным оборудованием передатчика ГОпер и приемника ГОпр стробирующими импульсами. Оба ключа каждого индивидуального канала управляются синхронно.

На последнем этапе передачи происходит восстановление аналогового сигнала – формирование исходной функции времени  $F(t)$  по пришедшим по линии связи канальным импульсам. Для выполнения этих операций используется фильтр нижних частот (ФНЧ). Процесс восстановления сигналов основан на теореме Котельникова.

*Виды импульсной модуляции (АИМ, ШИМ, ЧИМ, ФИМ)*

*Квантование по уровню. Линейное и нелинейное.*

## КОДОВОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ КАНАЛОВ

При кодовом разделении каналов (КРК) (Code Division Multiple Access – CDMA) передаваемую информацию кодируют и превращают в шумоподобный широкополосный сигнал (ШПС) так, что его можно выделить на приемной стороне, только располагая соответствующим кодом. При этом одновременно в широкой полосе частот можно передавать и принимать множество сигналов, которые не мешают друг другу.

Системы связи стандарта CDMA по сравнению с другими системами цифровой связи имеют следующие преимущества:

1. обладают исключительной сложностью результирующих сигналов, тем самым, повышая конфиденциальность передачи;
2. имеют малую спектральную плотность результирующего сигнала, что повышает скрытность системы;
3. эффективно передают информацию при многолучевом распространении радиоволн;
4. устойчивы к воздействию как импульсных, так и сосредоточенных по частоте помех;
5. осуществляют близкую к когерентной обработку сигналов, тем самым доводя помехоустойчивость до предельных значений;
6. имеют низкий уровень потребляемой мощности абонентской станции, что обеспечивает ее длительную работу без подзарядки;
7. облегчают либо полностью исключают необходимость частотного планирования;
8. гибки в развертывании, легко адаптируются к требованиям по предоставляемым услугам в конкретной сети пользования.

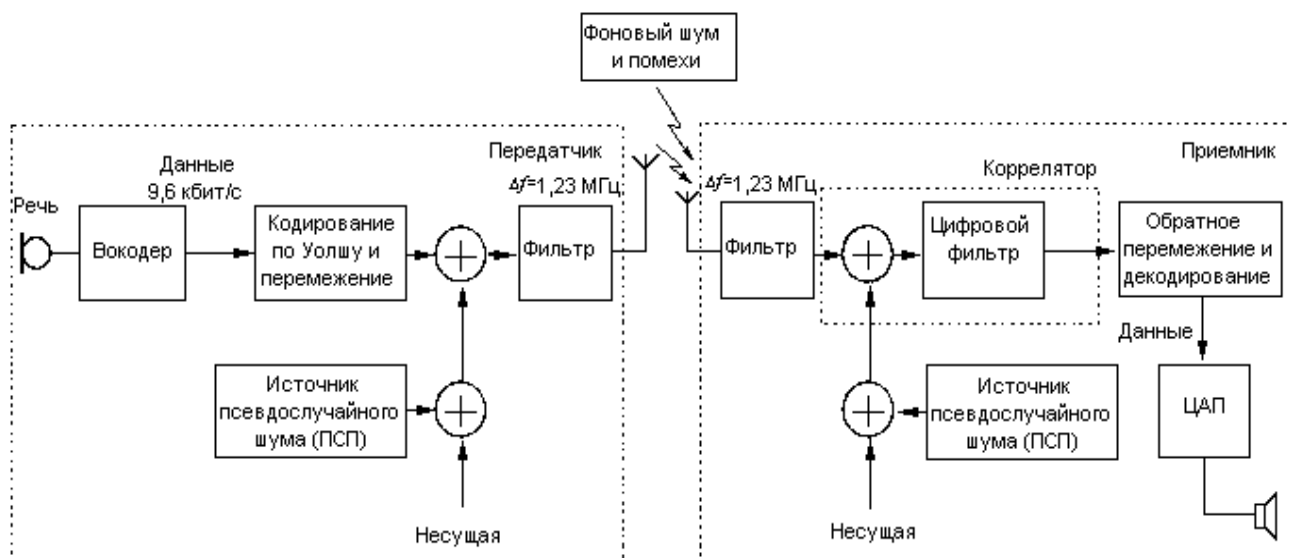
Широкополосной называется система, в которой передаваемый сигнал, занимает полосу частот, значительно превосходящую ширину спектра, информационного сигнала. Основной характеристикой широкополосного сигнала является его база  $B$ , определяемая как произведение ширины спектра сигнала  $F$  на его период  $T$ . Это осуществляется путем двойной модуляции несущей передаваемым информационным сигналом и широкополосным кодирующим сигналом. В широкополосной системе исходный модулирующий сигнал (например, сигнал телефонного канала) с полосой всего несколько килогерц распределяют в полосе частот, ширина которой может быть несколько мегагерц.

Информация может быть введена в широкополосный сигнал (ШПС) наложением её на широкополосную модулирующую кодовую последовательность перед модуляцией несущей для получения ШПС. Узкополосный сигнал умножается на псевдослучайную последовательность (ПСП) с периодом  $T$ , состоящую из  $N$  бит длительностью  $t_0$  каждый. В этом случае база ШПС численно равна количеству элементов ПСП.



Этот способ пригоден для любой широкополосной системы, в которой для прямого расширения спектра высокочастотного сигнала применяется цифровая последовательность (DSSS).

На приёмной стороне перемножение принятого сигнала и сигнала такого же источника псевдослучайного шума (ПСП), который использовался в передатчике, сжимает спектр полезного сигнала и одновременно расширяет спектр фонового шума и других источников интерференционных помех.



Принцип работы системы сотовой связи стандарта CDMA

Информационный сигнал кодируется по Уолшу, затем смешивается с несущей, спектр которой предварительно расширяется перемножением с сигналом источника псевдослучайного шума. Каждому информационному сигналу назначается свой код Уолша, затем они объединяются в передатчике, пропускаются через фильтр, и общий шумоподобный сигнал излучается передающей антенной.

На вход приемника поступают полезный сигнал, фоновый шум, помехи от БС соседних ячеек и от ПС других абонентов. После ВЧ-фильтрации сигнал поступает на коррелятор, где происходит сжатие спектра и выделение полезного сигнала в цифровом фильтре с помощью заданного кода Уолша. Спектр помех расширяется, и они появляются на выходе коррелятора в виде шума. На практике в ПС используется до 3 корреляторов для приема сигналов с различным временем распространения в радиотракте или сигналов, передаваемых различными БС.

В системах, использующих метод КРК, изменяя синхронизацию источника псевдослучайного шума, можно использовать один и тот же участок полосы частот для работы во всех ячейках сети. Такое 100%-ное использование доступного частотного ресурса – один из основных факторов, определяющих высокую абонентскую емкость сети стандарта CDMA и упрощающих ее организацию. Различение сигналов разных базовых станций обеспечивается тем, что все они используют одну и ту же пару коротких ПСП, но со сдвигом на 64 дискрета между разными станциями, т.е. всего в сети 511 кодов; при этом все физические каналы одной БС имеют одну и ту же фазу последовательности.

Число абонентов в системе CDMA зависит от уровня взаимных помех. Согласованные фильтры БС весьма чувствительны к эффекту «ближний-дальний», когда МС, расположенная вблизи базовой, работает на большой мощности, создавая недопустимо высокий уровень помех при приеме других, «дальних» сигналов, что приводит к снижению пропускной способности системы в целом. Эффективная работа системы с кодовым доступом возможна лишь при условии выравнивания сигнала от различных абонентов на входе базовой станции. Причем чем выше точность выравнивания, тем больше зона покрытия системы.

Для модуляции сигнала используется три вида функций: «короткая» и «длинная» ПСП и код Уолша порядков от 0 до 63. Все они являются общими для базовых и мобильных станций, однако реализуют разные функции (табл. 1).

Таблица 1. Параметры кодовых последовательностей в стандарте IS-95

Тип сигнала	Длина кода	Выполняемые функции	
		Базовая станция	Мобильная станция
Код Уолша	64	Кодовое уплотнение или разделение 64 каналов CDMA	Помехоустойчивое кодирование
Короткий код	32768	Разделение сигналов базовых станций по величине циклического сдвига	Код с одинаковым фиксированным циклическим сдвигом - как опорный сигнал скремблера
Длинный код	$2^{42}-1$ ( $4.4 \times 10^{12}$ )	Прореженный длинный код - как опорная последовательность скремблера	Длинный код с разными циклическими сдвигами - как адресная последовательность

Для кодового разделения каналов используются ортогональные функции Уолша, которые формируются из строк матрицы Адамара.

Матрица Адамара размером  $2n \times 2n$  формируется из матрицы размером  $n \times n$  следующим образом:

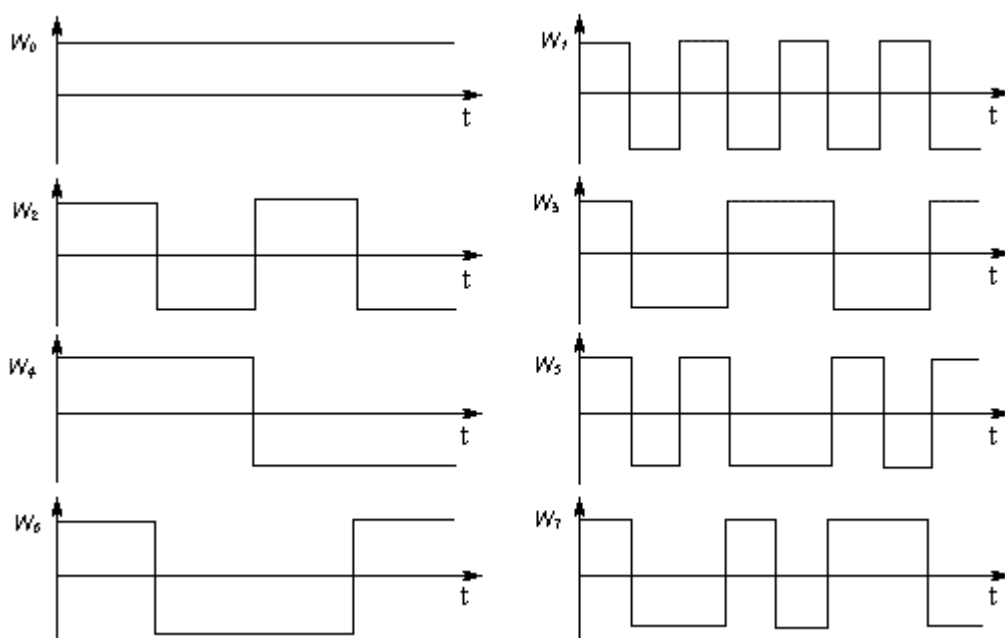
$$\begin{aligned}
 W(2) &= \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \\
 W(4) &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \\
 W(8) &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Закон формирования функций Уолша.

Для того, чтобы строки матрицы не повторялись и в то же время сохраняли свойство ортогональности, каждый следующий порядок образуется удвоением

количества и длины строк. Причём, вправо и вниз матрица копируется без изменений, а по диагонали – с инверсией.

Особенность этой матрицы состоит в том, что если попарно перемножить элементы двух различных строк, а затем сложить результаты, то получится ноль. Это значит, что любая пара строк в матрице Адамара является ортогональной (разумеется, если нет взаимного сдвига). С другой стороны, корреляция строки с самой собой дает число  $n$  (порядок матрицы – количество или длина строк). Если же скоррелировать строку и ее инверсное представление, то результат будет равен  $-n$ . Таким образом, информационную "1" можно передавать любой строкой матрицы Адамара, а информационный "0" – той же строкой, но с инверсией. Поток второго канала можно присвоить другую строку и т. д. по количеству каналов. Строки матрицы Адамара принято называть функциями Уолша. В стандарте CDMA используется матрица 64-го порядка.



Графики функций Уолша восьми первых порядков

На БС формируется 4 типа каналов: канал пилот-сигнала (PI), синхроканал (SYNC), вызывной канал (PCH) и канал трафика (TCH).

Сигналы разных каналов взаимно ортогональны, что гарантирует отсутствие взаимных помех между ними на одной БС. Внутрисистемные помехи в основном возникают от передатчиков других БС, работающих на той же частоте, но с иным циклическим сдвигом.

Излучение пилот-сигнала происходит непрерывно. Для его передачи используют функцию Уолша нулевого порядка ( $W_0$ ). Пилот-сигнал – это сигнал несущей, который используется ПС для выбора рабочей ячейки (по наиболее мощному сигналу), а также в качестве опорного для синхронного детектирования сигналов информационных каналов. Обычно на пилот-сигнале излучается около 20% общей мощности, что позволяет мобильной станции (МС) обеспечить точность выделения несущей частоты и осуществить когерентный прием сигналов.

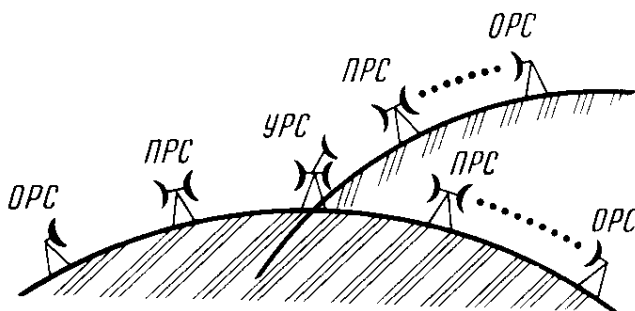
Таблица 2. Основные технические характеристики стандарта CDMA

Характеристика	Значение
Диапазон частот передачи MS, МГц	824,040÷848,860
Диапазон частот передачи BTS, МГц	869,040÷893,970
Дуплексный разнос частот, МГц	45
Относительная нестабильность несущей частоты BTS	$\pm 5 \times 10^{-8}$
Относительная нестабильность несущей частоты MS	$\pm 2,5 \times 10^{-6}$
Вид модуляции несущей частоты	QPSK (BTS), O-QPSK (MS)
Ширина спектра излучаемого сигнала, МГц:	
по уровню -3 дБ	1.25
по уровню -40 дБ	1.50
Тактовая частота ПСП, МГц	1.2288
Число каналов BTS на одной несущей	1 пилот-канал, 1 канал сигнализации, 7 каналов персонального вызова, 55 каналов связи
Число каналов MS	1 канал доступа, 1 канал связи
Скорость передачи данных, бит/с:	
в канале синхронизации	1200
в канале персонального вызова и доступа	9600, 4800
в каналах связи	9600, 4800, 2400, 1200

## Радиорелейные системы передачи

Радиосистема передачи, в которой сигналы электросвязи передаются с помощью наземных ретрансляционных станций, называется радиорелейной системой передачи.

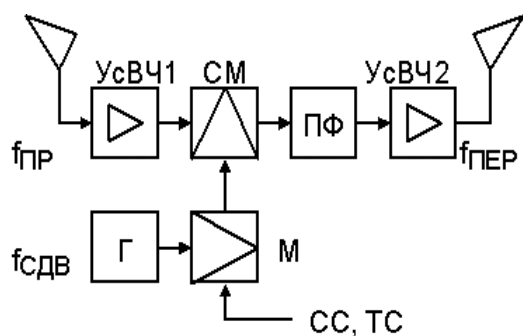
На частотах ОВЧ- и СВЧ-диапазона надежная связь с низким уровнем помех может быть получена только в условиях прямой видимости между антеннами, излучающими радиоволны. Расстояние между антеннами радиорелейных систем зависит от структуры земной поверхности и высоты антенн над ней. Типичные расстояния составляют 40 - 50 км при высотах башен и мачт, на которых устанавливаются антенны, около 100 м. Ограниченность расстояния прямой видимости не следует рассматривать как недостаток. Именно за счет невозможности свободного распространения радиоволн на большие расстояния устраняются взаимные помехи между радиорелейными системами передачи внутри одной страны и разных стран. Кроме того, в указанных диапазонах практически отсутствуют атмосферные и промышленные помехи.



Антенны могут работать в режиме передачи и приема одновременно в противоположных направлениях с использованием двух частот:  $f_1$  и  $f_2$ . При этом, если станция передает сигнал на частоте  $f_1$  и принимает на частоте  $f_2$ , то соседние с ней станции передают на частоте  $f_2$ , а принимают на частоте  $f_1$ . Эта пара частот, соответствующая двухчастотному плану частот МСЭ-Р, образует радиочастотный ствол.

Радиорелейные линии (РРЛ) занимают диапазоны ОВЧ и СВЧ, причем граница между аналоговыми и цифровыми радиорелейными системами (РРС) лежит вблизи частоты 11 ГГц.

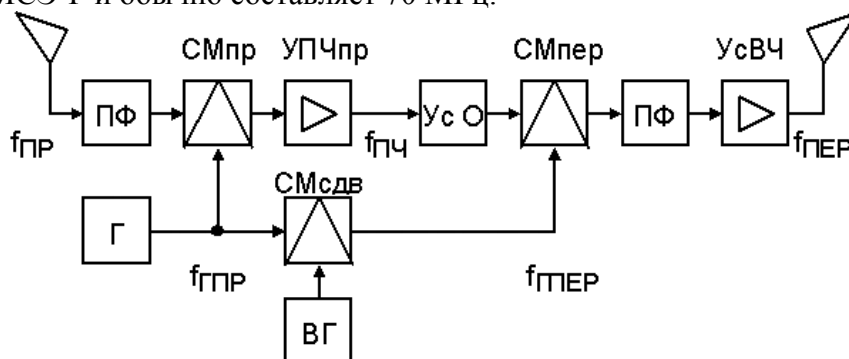
Аналоговые РРС предназначены в основном для передачи многоканальных телефонных сигналов в аналоговой форме и сигналов данных с низкой и средней скоростью по каналам ТЧ, а также сигналов телевидения. Цифровые РРС используются для организации цифровых трактов со скоростями от 2 до 140 Мбит/с.



Большинство станций РРЛ составляют промежуточные радиостанции (ПРС), играющие роль активных ретрансляторов. На всех станциях РРЛ целесообразно иметь однотипную, унифицированную приемопередающую аппаратуру (ППА), удовлетворяющую требованиям заданного частотного плана.

Перспективным вариантом построения ППА является вариант с усилением на СВЧ и преобразованием частоты. Недостатком подобной схемы является необходимость обработки сигнала на СВЧ.

Наиболее часто используются ППА, в которой обработка сигналов производится на промежуточной частоте  $f_{ПЧ}$ . Номинальное значение  $f_{ПЧ}$  выбирается в соответствии с рекомендациями МСЭ-Р и обычно составляет 70 МГц.



Приемопередающая аппаратура с обработкой на промежуточной частоте

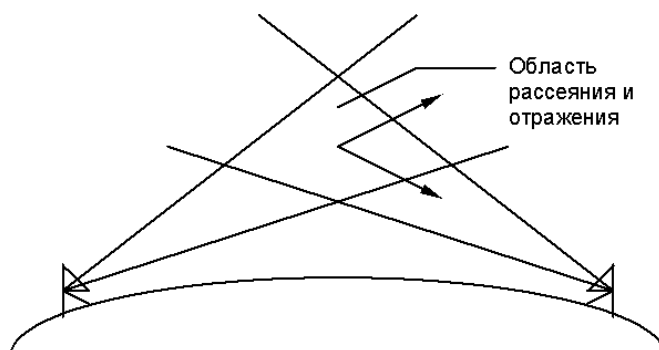
Применение промежуточной частоты для обработки сигнала позволяет унифицировать аппаратуру усиления сигнала, а также ввода и вывода информационных сигналов на промежуточных, узловых и оконечных станциях.

Параметр	Значение параметра для цифровой радиорелейной СИ							
	Радан	Пикта-2	Электроника-М	Электроника-связь	Электроника-изотоп	КУРС-8-02	Ракита-8	Комплекс-5М
Диапазон частот, ГГц	10,7..	1,7..	10,7..	10,7..	1,7..2,1	7,9..	7,9..8,4	10,7..11,7
	11,7	2,1	11,7	11,7		8,4		
Число каналов ТЧ в тлф стволе	15	30	120	120	120	120	480	30/60 120/240
Тип ЦСИ	ИКМ-15	ИКМ-30	ИКМ-120	ИКМ-120	ИКМ-120	ИКМ-120	ИКМ-480	ИКМ-30 ИКМ-120
Метод модуляции несущей СВЧ	ЧМ	2-ОФМ	АМ	ОФМ	ЧМ	ЧМ	4-ОФМ	ЧМ
Первичная сеть	Местная	Местная	Внутризоновая				Магистральная	Местная
								Внутризоновая

## Тропосферные радиорелейные системы передачи

Тропосфера - нижняя часть атмосферы Земли. В тропосфере всегда есть локальные объемные неоднородности, вызванные различными физическими процессами, происходящими в ней. Волны диапазона 0,3..5 ГГц способны рассеиваться этими неоднородностями.

Учитывая, что неоднородности находятся на значительной высоте, нетрудно представить, что рассеянные ими радиоволны могут распространяться на сотни километров. Это дает



возможность разнести станции на расстояние 200..400 км друг от друга, что значительно больше расстояния прямой видимости.

Линии на основе тропосферных радиорелейных систем передачи строятся, как правило, в труднодоступных и удаленных районах.

Значительные расстояния между станциями, безусловно, выгодны при организации протяженных линий, поскольку требуется меньшее число станций. Однако за счет глубоких замираний из-за неустойчивости пространственно-временной структуры тропосферы и крайне малой мощности радиосигнала в точке приема организация хорошего качества связи и значительного количества каналов затруднена.

Тип аппаратуры	Диапазон частот, ГГц	Среднее расстояние между станциями, км	Число каналов ТЧ
"Горизонт-М"	0,8..1	300	60
ТР-120	0,8..1	300	120
ДТР-12	0,8..1	600	12

### **Радиосистемы передачи на декаметровых волнах**

Радиосистема передачи, в которой используется отражение декаметровых волн от ионосферы, называется ионосферной системой передачи на декаметровых волнах.

В ионосфере происходит, строго говоря, не отражение радиоволны, а поворот ее траектории за счет неоднородности диэлектрических свойств вертикального профиля ионосферы. Траектория распространения радиоволн, от одной точки на поверхности Земли к другой, с одним отражением от ионосферы называется ионосферным скачком. Расстояние между пунктами приема и передачи, измеренное вдоль поверхности Земли, составляет около 2000 км. Траектория распространения радиоволн может быть образована несколькими ионосферными скачками. Условия распространения радиоволн, а следовательно, и качество радиосвязи зависят от состояния ионосферы, определяемого временем года, суток и циклом солнечной активности.

В результате ионосферные системы передачи на декаметровых волнах не позволяют организовать большого числа каналов, и обычно количество каналов не превышает одного-двух телефонных или нескольких телеграфных.

### **Радиосистемы, использующие ионосферное рассеяние радиоволн и отражение от следов метеоров**

Радиосистема передачи, в которой используется рассеяние метровых волн на неоднородностях ионосферы, называется ионосферной системой передачи на метровых волнах. Образование ионосферных волн в метровом диапазоне во многом сходно с образованием тропосферных волн. Разница заключается в том, что рассеяние происходит не в тропосфере, а в ионосфере на высоте 75..95 км. Предельная дальность связи в этом

случае 2000..3000 км, наиболее подходящие частоты 40..70 МГц. При ионосферном рассеянии в пункт приема приходит только ничтожная часть излучаемой энергии, что вынуждает использовать мощные радиопередатчики и большие по размеру антенны. Такие системы позволяют организовать с удовлетворительным качеством до трех телефонных каналов.

В атмосферу Земли непрерывно проникают потоки мелких космических частиц - метеоров. Большинство из них сгорает на высоте 80..120 км, образуя ионизированные следы. Протяженность следа 10..25 км, а время существования от 5 мс до 20 с. Радиосистемы, использующие отражения от следов метеоров, работают в диапазоне 30..70 МГц. Время прохождения радиосигналов при метеорной связи составляет только 2..4 ч в сутки.

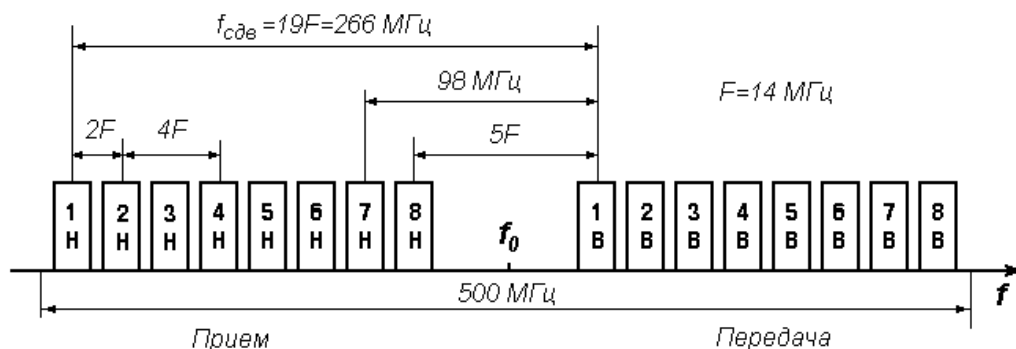
Обычно с помощью этих радиосистем организуется передача телеграфных сигналов, причем таких, для которых задержка в передаче не играет существенной роли. Метеорные системы передачи применяются для дублирования ионосферных систем на декаметровых волнах в полярных широтах, для связи в метеорологической службе и некоторых других целей.

### План распределения частот

Для работы РРЛ выделены полосы частот шириной:

- 400 МГц в диапазоне 2 ГГц ( $1,7 \div 2,1$  ГГц), (может быть 6 дуплексных ВЧ стволов);
- 500 МГц в диапазонах 4 ( $3,4 \div 3,9$ ), 6 ( $5,67 \div 6,17$ ) и 8 ( $7,9 \div 8,4$ ) ГГц (8 ВЧ стволов);
- 1 ГГц в диапазонах 11 и 13 ГГц (до 12 ВЧ стволов).

Эти полосы распределяют между ВЧ стволами РРСП по определенному плану, называемому *планом распределения частот*. Планы частот составляют так, чтобы обеспечить минимальные взаимные помехи между стволами, работающими на одну антенну.

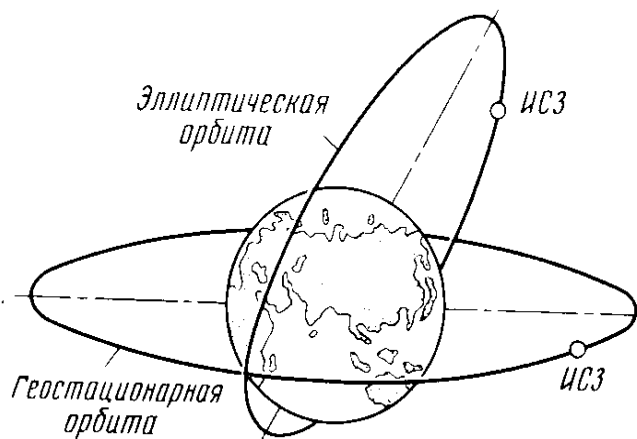




## Спутниковые системы связи

Конфигурация систем СС зависит от типа искусственного спутника Земли (ИСЗ), вида связи и параметров земных станций. Для построения систем СС используются в основном три разновидности ИСЗ – геостационарной орбите (ГСО), на высокой эллиптической орбите (ВЭО) и низко-высотной орбите (НВО). Каждый тип ИСЗ имеет свои преимущества и недостатки.

Уникальной орбитой является ГСО - круговая орбита с периодом обращения ИСЗ 24 часа, лежащая в плоскости экватора, с высотой 35875 км от поверхности Земли. Орбита синхронна с вращением Земли, поэтому спутник оказывается неподвижным относительно земной поверхности. Достоинства ГСО: зона обслуживания составляет около трети земной поверхности, трех спутников достаточно для почти глобальной связи, антенны земных станций практически не требуют систем слежения. Однако в северных широтах спутник виден под малыми углами к горизонту и вовсе не виден в приполярных областях.



Примером ИСЗ с ВЭО могут служить отечественные спутники типа "Молния" с периодом обращения 12 часов, наклонением  $63^{\circ}24'$  с высотой апогея над северным полушарием 40 тысяч км, а высота перигея около 500 км. Движение ИСЗ в области апогея замедляется, при этом длительность радиовидимости составляет 6..8 ч. Преимуществом данного типа ИСЗ является большой размер зоны обслуживания при охвате большей части северного полушария. Недостатком ВЭО является необходимость слежения антенн за медленно дрейфующим спутником и их переориентирования с заходящего спутника на восходящий.

"Низколеты" запускаются на круговые орбиты, плоскость которых наклонена к плоскости экватора (полярные и квазиполярные орбиты) с высотой порядка 200..2000 км над поверхностью Земли. Запуск легкого ИСЗ на низкую орбиту может быть осуществлен с помощью недорогих пусковых установок. Однако скорость перемещения ИСЗ относительно поверхности Земли достаточно велика, в результате длительность сеанса от восхода спутника до его захода не превышает несколько десятков минут.

Диапазоны рабочих частот систем СС регламентированы МСЭ-Р, различны для участков Земля-ИСЗ и ИСЗ-Земля и лежат в пределах 2..40 ГГц.

Для систем СС существуют некоторые особенности передачи сигналов:

- запаздывание сигналов - для геостационарной орбиты около 250 мс в одном направлении. Является одной из причин появления эхосигналов при телефонных переговорах;
- эффект Доплера - изменение частоты сигнала, принимаемого с движущегося источника. Для скоростей много меньших скорости света  $v_r/c \ll 1$  изменение частоты составляет  $f=f_0/(1 \pm v_r/c)$ . Наиболее сильно эффект Доплера проявляется для ИСЗ, использующих негеостационарные орбиты.

В зависимости от назначения системы СС и типа земных станций регламентом МСЭ различаются следующие службы:

- фиксированная спутниковая служба для связи между станциями, расположенными в определенных фиксированных пунктах, а также распределения телевизионных программ;
- подвижная спутниковая служба для связи между подвижными станциями, размещаемыми на транспортных средствах (самолетах, морских судах, автомобилях и пр.);
- радиовещательная спутниковая служба для непосредственной передачи радио и телевизионных программ на терминалы, находящиеся у абонентов.

*Фиксированная спутниковая служба (ФСС).* На начальном этапе развития ФСС развивалась в направлении создания систем магистральной связи с применением крупных земных станций с диаметрами зеркала антенн порядка 12..30 м. В настоящее время функционирует около 50 систем ФСС. В качестве примеров можно отметить отечественные системы СС "Молния-3", "Радуга", "Горизонт" и международные системы Intelsat и Eutelsat. Развитие ФСС идет по направлениям увеличения срока службы ИСЗ, повышения точности удержания ИСЗ на орбите, разработки и совершенствования многолучевых антенн, а также возможности работы на антенны земных станций малого диаметра (1,2..2,4 м) (системы VSAT).

*Подвижная спутниковая служба (ПСС).* В силу международного характера работы транспорта для его управления создаются международные системы глобальной спутниковой связи, например, система морской спутниковой связи Inmarsat, которая введена в действие в 1982 году. Функционально она содержит геостационарные спутники, расположенные над Атлантическим, Индийским и Тихим океанами; береговые станции, установленные на различных континентах, и разветвленную сеть судовых станций различных стандартов. В настоящее время системой Inmarsat пользуется около 15 тысяч судов. В рамках организации Inmarsat решается проблема создания системы авиационной спутниковой связи.

Успехи в космических технологиях последних лет, а также достижения в микроэлектронике, появление эффективных алгоритмов параметрического компандирования речевых сигналов, разработка лазерных линий межспутниковой связи вызвали большой интерес к использованию легких низколетящих ИСЗ для ПСС. Поддержание большой (десятки аппаратов) группировки ИСЗ на НВО для

обеспечения непрерывности связи оказывается экономически целесообразно, во-первых, ввиду упоминавшейся выше относительно малой стоимости вывода спутника на НВО и, во-вторых, в связи возможностью создания систем с малогабаритными абонентскими станциями, имеющими изотропные антенны.

Различают два типа СС с НВО. В наиболее простых из них пакеты информации передаются через ИСЗ-ретранслятор непосредственно или с задержкой на время пролета по трассе. Второй тип систем обеспечивает непрерывную связь. Зоны радиовидимости отдельных ИСЗ объединяются в единое информационное пространство.

Примером такой системы служит международный проект Iridium, возглавляемый фирмой Motorola. Система базируется на 66 легких (масса 689 кг) ИСЗ, равномерно размещенных на 6 полярных орбитах (по 11 ИСЗ на каждой орбите) высотой 780 км, плоскости которых разнесены на  $30^\circ$ , но совпадают по фазам движения. Каждый ИСЗ связан с четырьмя соседними. Ретранслятор работает на многолучевую антенну с числом лучей 48, что позволяет организовать в системе 2100 активных лучей одновременно, т.е. создать сотовую зону обслуживания на всей поверхности Земли.

В системе принят многостанционный доступ с частотно-временным разделением каналов, для межспутниковых линий и станций сопряжения предусматривается диапазон частот "К" 19..29 ГГц, для абонентских линий "Земля-ИСЗ" и "ИСЗ-Земля" - использование двух полос в диапазоне частот "L" 1610..1626,5 МГц. Система Iridium сможет охватить связью до 1,5 млн. абонентов. Планируется применение двухрежимных абонентских терминалов: режим Iridium и режим одного из стандартов сотовой подвижной связи (например, GSM). При нахождении абонента в зоне обслуживания системы сотовой связи, он обслуживается данной системой. Когда абонент покидает зону обслуживания системы сотовой связи, автоматически происходит его переключение на обслуживание системой СС Iridium.

*Радиовещательная спутниковая служба (РСС).* РСС реализует одно из основных направлений развития телекоммуникаций - персонализацию, т.е. телевизионные программы принимаются непосредственно на индивидуальные приемники абонентов. МСЭ утвердил международный план спутникового ТВ вещания в диапазоне 12 ГГц (НТВ-12). В планах зафиксированы точки стояния ИСЗ на ГСО, номера частотных каналов, параметры бортовой передающей аппаратуры. Для спутников бывшего СССР выделены пять точек стояния:  $23^\circ$ ,  $44^\circ$ ,  $74^\circ$ ,  $110^\circ$  и  $140^\circ$  восточной долготы. Следует отметить, что из-за исторически сложившегося развития технических средств, для непосредственного телевидения применяется также диапазон 11 ГГц, выделенный для ФСС.

## Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС

ГЛОНАСС предназначена для определения местоположения, скорости движения, а также точного времени морских, воздушных, сухопутных и других видов потребителей.

Система ГЛОНАСС состоит из трех подсистем:

- подсистемы космических аппаратов (ПКА);
- подсистемы контроля и управления (ПКУ);
- навигационной аппаратуры потребителей / аппаратуры спутниковой навигации НАП (АСН).

Подсистема космических аппаратов системы ГЛОНАСС состоит из 24-х НКА, находящихся на круговых орбитах высотой 19100 км, наклоном  $64,8^\circ$  и периодом обращения 11 часов 15 минут в трех орбитальных плоскостях. (GPS – 20180 км., Galileo – 23222 км.)

Орбитальные плоскости разнесены по долготе на  $120^\circ$ . В каждой орбитальной плоскости размещаются по 8 НКА с равномерным сдвигом по аргументу широты  $45^\circ$ . Кроме этого, в разных плоскостях положения НКА из разных плоскостей сдвинуты относительно друг друга по аргументу широты на  $15^\circ$ . Такая конфигурация подсистемы КА позволяет обеспечить непрерывное и глобальное покрытие земной поверхности и околоземного пространства навигационным полем.

Подсистема контроля и управления состоит из Центра управления системой ГЛОНАСС и сети станций измерения, управления и контроля, рассредоточенных по всей территории России. В задачи ПКУ входит контроль правильности функционирования ПКА, непрерывное уточнение параметров орбит и выдача на НКА временных программ, команд управления и навигационной информации.

НАП (АСН) состоит из навигационных приемников и устройств обработки, предназначенных для приема навигационных сигналов НКА «Глонасс» и вычисления собственных координат, скорости и времени.

Абонентские системы ГЛОНАСС выполняют беззапросные измерения псевдодальности и радиальной псевдоскорости не менее четырех (трех) НКА «Глонасс», а также прием и обработку навигационных сообщений, содержащихся в составе спутниковых навигационных радиосигналов. В навигационном сообщении описывается положение НКА в пространстве и времени. В результате обработки полученных измерений и принятых навигационных сообщений определяются три (две) координаты потребителя, три (две) составляющие вектора скорости его движения, а также осуществляется синхронизация шкалы времени потребителя со шкалой Гос-эталона Координированного Всемирного времени UTC(SU).

Данные, обеспечивающие планирование сеансов навигационных определений, выбор рабочего "созвездия" навигационных космических аппаратов и обнаружение передаваемых ими радиосигналов, передаются в составе навигационного сообщения.

Таблица 3.1 Распределение несущих частот поддиапазонов L1 и L2.

№ частоты	Номинал частоты в поддиапазоне L1, МГц	№ частоты	Номинал частоты в поддиапазоне L2, МГц
06	1605,375	06	1248,625
05	1604,8125	05	1248,1875
04	1604,25	04	1247,75
03	1603,6875	03	1247,3125
02	1603,125	02	1246,875
01	1602,5625	01	1246,4375
00	1602,0	00	1246,0
-01	1601,4375	-01	1245,5625
-02	1600,8750	-02	1245,1250
-03	1600,3125	-03	1244,6875
-04	1599,7500	-04	1244,2500
-05	1599,1875	-05	1243,8125
-06	1598,6250	-06	1243,3750
-07	1598,0625	-07	1242,9375

В соответствии с рекомендациями Международного Союза Электросвязи (МСЭ) в системе ГЛОНАСС предусмотрено изменение частотного диапазона для сигнала стандартной точности с номеров частот  $K = 0...+24$  на номера  $K=(-7...+6)$ .

## КОДИРОВАНИЕ РЕЧИ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ

Речь представляет собой колебания сложной формы, зависящей от произносимых слов, тембра голоса, интонации, пола и возраста говорящего. Спектр речи весьма широк (примерно от 50 до 10000 Гц), но для передачи речи в аналоговой телефонии когда-то отказались от составляющих, лежащих вне полосы  $0,3 \div 3,4$  кГц, что ухудшило восприятие ряда звуков (например, шипящих, существенная часть энергии которых сосредоточена в верхней части речевого спектра), но мало затронуло разборчивость. Ограничение частоты снизу (до 300 Гц) также ухудшает восприятие из-за потерь низкочастотных гармоник основного тона. А в цифровой телефонии к влиянию ограничения спектра добавляются еще шумы дискретизации, квантования и обработки, дополнительно зашумляющие речь.

Для совместимости по полосе с распространенными аналоговыми сетями в цифровой телефонии отсчеты аналоговой речи приходится брать согласно теореме Котельникова с частотой 8 кГц - не меньше двух отсчетов на 1 Гц полосы. Правда, в цифровой телефонии существует принципиальная возможность использовать спектр речи за пределами полосы  $0,3 \div 3,4$  кГц и тем самым повысить качество, но эти методы не реализуются, так как они вычислительно пока еще очень сложны. Впрочем, кое-что появляется: уже разработаны универсальные кодеки для компьютерной телефонии и мультимедиа, способные пристойно передавать не только речь, но и музыку. При полосе исходного сигнала до 6 кГц и тактовой частоте отсчетов около 16 кГц сжатый цифровой сигнал требует для передачи канал в 12 кбит/с. При этом оценка качества по критерию усреднённой экспертной оценки (УЭО) может быть выше 4,5 балла.

Озвученная речь образуется с помощью звуковых связок человека. Скорость их периодических колебаний задает так называемую частоту основного тона (ОТ) - периодическую подпитку энергией голосового тракта человека, который представляет собой объемный резонатор. Голосовой тракт формирует спектральную окраску речи, или, другими словами, ее формантную структуру. Условно, речевой сигнал можно разделить на две составляющие, отвечающие за Основной Тон (возбуждение фильтра) и голосовой тракт (формантная структура сигнала). Соответственно, большинство на сегодня используемых алгоритмов решают один вопрос – как наиболее эффективно выделить и сокращенно описать обе составляющие.

Классическое формирование цифрового сигнала из аналогового (по Котельникову) предусматривает последовательное выполнение трех основных операций:

- дискретизация аналогового сигнала по времени, в результате чего формируется импульсный амплитудно-модулированный сигнал (АИМ);
- квантование АИМ-сигнала по уровню;
- кодирование квантованных отсчетов АИМ-сигнала.

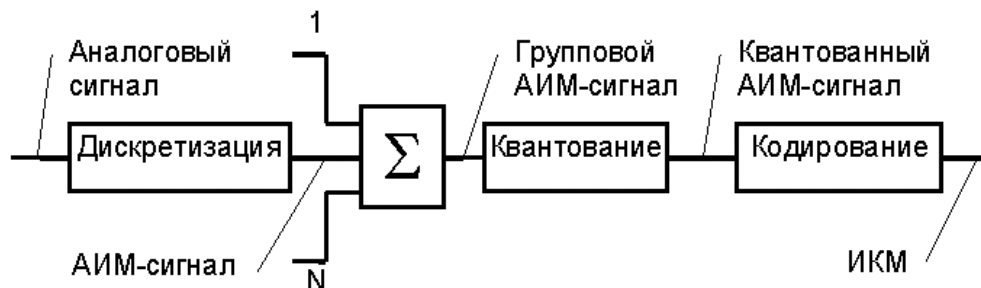


Рис. 1. Преобразование аналогового сигнала в цифровой ИКМ-сигнал

В цифровых системах передачи (ЦСП) формируется групповой цифровой сигнал, иначе называемый сигналом импульсно-кодовой модуляции (ИКМ). При формировании группового ИКМ-сигнала добавляется еще одна операция: перед квантованием по уровню производится объединение индивидуальных АИМ-сигналов (Рис.1).

Обратное преобразование ИКМ-сигнала в аналоговый предусматривает последовательное выполнение следующих основных операций:

- декодирование (преобразование ИКМ-сигнала в АИМ);
- восстановление аналогового сигнала (выделение из спектра АИМ-сигнала исходного сигнала).

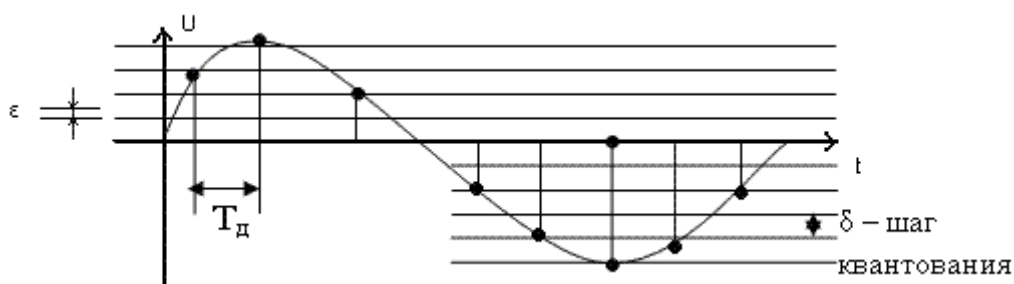
В ЦСП соответствующие операции обработки производятся отдельными устройствами. Операции квантования и кодирования в ЦСП обычно объединяют в одном устройстве.

### Дискретизация сигнала во времени

В процессе формирования АИМ сигнала осуществляется дискретизация непрерывного (аналогового) сигнала во времени в соответствии с теоремой дискретизации (теоремой В.А.Котельникова): *любой непрерывный сигнал, ограниченный по спектру верхней частотой  $F_B$  полностью определяется последовательностью своих дискретных отсчетов, взятых через промежуток времени  $T_d = 1/2 F_B$ , называемый периодом дискретизации.* В соответствии с ним частота дискретизации, т.е. следования дискретных отсчетов, выбирается из условия  $F_d > 2F_B$ . Поскольку все реально существующие непрерывные сигналы связи представляют собой случайные процессы с бесконечно широким спектром, причем основная энергия сосредоточена в относительно узкой полосе частот, перед дискретизацией необходимо с помощью фильтра нижних частот ограничить спектр сигнала некоторой частотой  $F_B$ . Для телефонных сигналов необходимо использовать ФНЧ с частотой среза  $F_B = 3,4$  кГц. Поэтому частота дискретизации для телефонных сигналов выбрана 8 кГц.

### Квантование мгновенных значений сигнала

В процессе квантования по уровню значение каждого АИМ-отсчета заменяется ближайшим разрешенным значением.



Характеристиками квантующего устройства являются следующие:

- число уровней квантования  $N_{KB}$ ;
- шаг квантования  $\delta$  — разность между двумя соседними разрешенными уровнями;
- напряжение ограничения  $U_{огр}$  — максимальное значение амплитуды отсчета, подвергаемого квантованию.

Если  $\delta = \text{const}$ , то квантование называют равномерным.

Ошибка квантования  $\varepsilon$  – разность между истинным значением отсчета и его квантованным значением. При равномерном квантовании величина ошибки квантования не превышает половины шага квантования.

При квантовании возникает так называемый шум квантования, мощность которого определяется выражением  $P_{\text{ш.кв}} = \delta^2/12$ . Защищенность от шумов квантования определяется как:

$$A_{3.\text{кв}} = 10 \lg(P_{\text{с}} / P_{\text{ш.кв}}).$$

Если входное напряжение выше порогового, на выходе квантователя формируются отсчеты с амплитудой  $U_{\text{огр}}$  – такой режим работы квантователя называется перегрузкой. При этом возникают шумы ограничения, мощность которых значительно превышает мощность шумов квантования. Необходимо применять специальные меры, предотвращающие перегрузку квантователя.

Недостатком равномерного квантования является меньшая защищенность от шумов квантования малых уровней сигнала.

Для обеспечения  $A_{3.\text{кв}}$  не менее 30 дБ во всем динамическом диапазоне речевого сигнала требуется  $2^{12}=4096$  уровней квантования.

Большое число разрядов в коде ( $m=12$ ) при равномерном квантовании приводит к усложнению аппаратуры и неоправданному увеличению тактовой частоты. Устранить указанный существенный недостаток можно, осуществляя неравномерное квантование, которое используется в современных ЦСП. Сущность неравномерного квантования заключается в следующем. Для малых значений сигналов шаг квантования выбирается минимальным, и постепенно увеличивается, достигая максимального для больших значений сигналов.

При этом для слабых сигналов  $P_{\text{ш.кв}}$  уменьшается, а для сильных – возрастает, что приводит к увеличению  $A_{3.\text{кв}}$  для слабых сигналов и снижению  $A_{3.\text{кв}}$  – для сильных. В результате удастся снизить разрядность кода до  $m = 8$  ( $N_{\text{кв}} = 256$ ), обеспечив при этом выполнение требований к защищенности от шумов квантования в широком динамическом диапазоне сигнала, составляющем около 40 дБ. Таким образом происходит выравнивание  $A_{3.\text{кв}}$  в широком диапазоне изменения уровней сигнала.

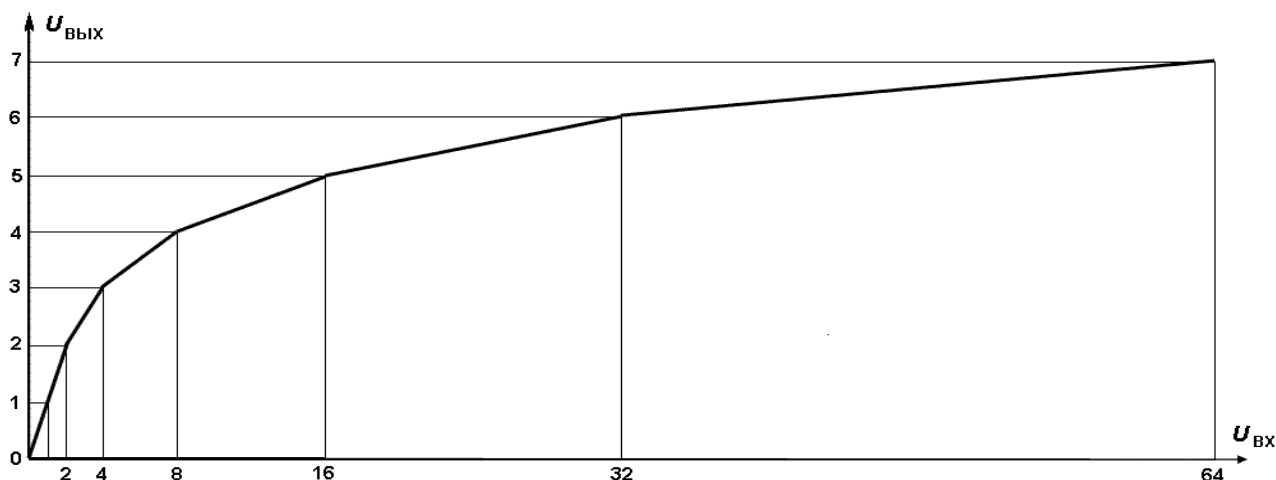


Рис. 2. Передаточная характеристика компрессора



Эффект неравномерного квантования может быть получен с помощью сжатия динамического диапазона сигнала с последующим равномерным квантованием. Сжатие динамического диапазона сигнала осуществляется с помощью *компрессора*, обладающего нелинейной амплитудной характеристикой. Чем большей нелинейностью обладает компрессор, тем больший выигрыш может быть получен для слабых сигналов.

Для восстановления исходного динамического диапазона сигнала на приеме необходимо установить *экспандер* (расширитель), амплитудная характеристика которого должна быть обратной амплитудной характеристике компрессора. Таким образом, результирующая (суммарная) амплитудная характеристика цепи компрессор-экспандер (*компандер*), должна быть линейной во избежание нелинейных искажений передаваемых сигналов.

В современных ЦСП находят применение две логарифмические характеристики компандирования (типов  $A$  и  $\mu$ ), которые удобно изображать и описывать в нормированном виде  $y=f(x)$ , где  $y = U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ОГР}}$ ,  $x = U_{\text{ВХ}}/U_{\text{ОГР}}$ :

$$y = \begin{cases} \frac{A|x|}{1 + \ln A}; 0 \leq |x| < \frac{1}{A} \\ \frac{1 + \ln(A|x|)}{1 + \ln A}; \frac{1}{A} < |x| \leq 1 \end{cases} \quad y = \frac{\ln(1 + \mu|x|)}{\ln(1 + \mu)}; 0 < |x| \leq 1$$

где  $A = 87,6$  и  $\mu = 255$  - параметры компрессии.

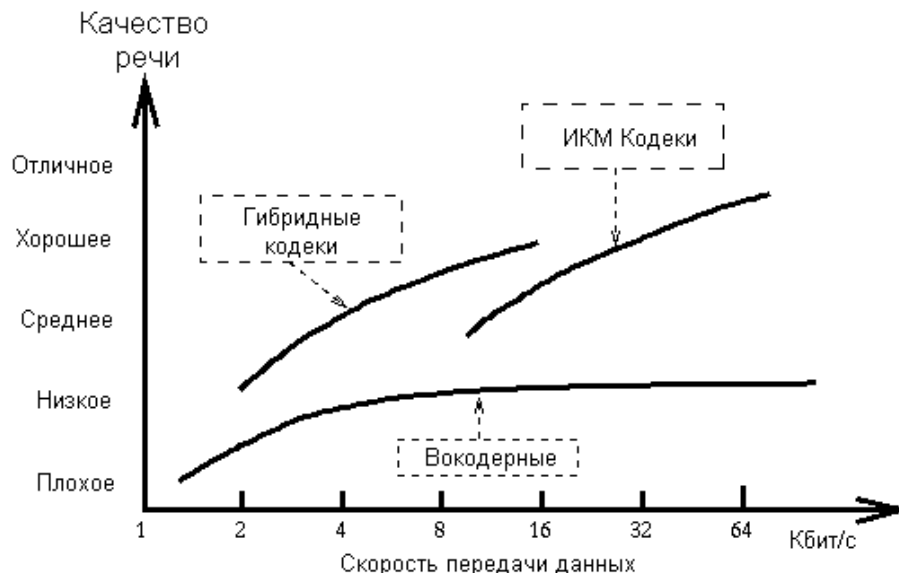
Характеристика компандирования типа  $A$  используется в ЦСП, соответствующих европейской ПЦИ, а типа  $\mu$  - в ЦСП, соответствующих североамериканской ПЦИ.

Логарифмическая ИКМ никак не использует взаимную корреляцию между соседними отсчетами речи, поэтому первым примером сжимающей обработки стоит считать дифференциальную ИКМ (ДИКМ), при которой осуществляется предсказание речи первого порядка (нулевая интерполяция). Предыдущий отсчет берется с определенным весом, формируя прогноз. Разница между предсказанным и реальным отсчетом речи подвергается квантованию. Позднее появилась более продвинутая технология - адаптивная дифференциальная ИКМ (АДИКМ). При АДИКМ размеры шага квантования подстраивают в соответствии с энергией речи так, чтобы слабые сигналы квантовались малыми ступенями квантования, а сильные сигналы - большими. Благодаря непрерывной подстройке шага квантования к текущей мощности речи, разрядность шкалы квантования при АДИКМ удалось снизить до четырех бит и получить кодек со скоростью передачи 32 кбит/с и качеством, близким к ИКМ.

Алгоритм управления адаптацией шкалы вносит запаздывание, ухудшающее качество речи. В 1987 году во вкладе СССР в Международный консультативный комитет по телефонии и телеграфии был описан алгоритм АДИКМ G.721-bis с ускоренной адаптацией шага. Затем рекомендация G.721 еще несколько раз улучшалась, и в 1984 году был принят стандарт ITU-T G.726 на АДИКМ (32 кбит/с), но с лучшим качеством, используемый по настоящее время на спутниковых и других линиях связи.

## Кодирование сигналов

Все кодеки (кодер/декодер) по принципу обработки можно условно разделить на две группы: кодеки формы сигнала и кодеки речи (вокодеры). В настоящее время широко применяются гибридные кодеки – сочетающие в себе оба варианта кодирования.



**Кодеки формы сигнала** используются сегодня в системах традиционной телефонии. В большинстве случаев, представляют собой сочетание АЦП/ЦАП. Применяются кодеки с Импульсно Кодовой Модуляцией (ИКМ), Адаптивной Дифференциальной Импульсно Кодовой Модуляцией (АДИКМ) и Адаптивной Дельта-Модуляцией (АДМ)

**Кодеки с вокодерным преобразованием** речевого сигнала возникли в системах мобильной связи для снижения требований к пропускной способности радиотракта. Вокодеры осуществляют *параметрическое* кодирование речевых сигналов (РС), при котором на передающей стороне с помощью *анализатора* из РС выделяют характерные, медленно изменяющиеся параметры, которые передаются в кодированном виде по каналу связи. На приемной стороне *синтезатор* по этим параметрам формирует речевое сообщение.

При построении ВК используют следующие специфические особенности спектра РС:

1. Спектр звонких звуков (гласных и звонких согласных) дискретный, причем все компоненты спектра являются кратными гармониками частоты основного тона  $F_{от}$ .
2. Спектр глухих звуков является практически сплошным.
3. Для всех звуков характерно неравномерное распределение энергии компонентов спектра с концентрацией их в отдельных областях, которые называются *формантами*. Число таких формантных областей для каждого звука —  $3 \div 5$ . Основными параметрами 1-й формантной области ( $i=1, 2, 3, \dots$  — номер форманты) являются центральная частота и максимальная энергия, которые меняются от звука к звуку.

4. Огибающая мгновенных спектров различных звуков одного абонента имеет максимум в области 200÷400 Гц со спадом интенсивности для верхних частот примерно 9÷12 дБ/октаву.
5. Частота следования отдельных звуков или слогов не превышает 10 Гц, при этом длительность самых коротких согласных звуков — не менее 0,03 с, а самых длинных гласных — не более 0,35 с.

В зависимости от того, какие из перечисленных особенностей выбраны основными при анализе и синтезе РС, вокодеры разделяют на **полосные** (ПВК), **формантные** (ФВК), **гармонические** (ГВК) и т.д. В каждом из них может использоваться аналоговая, аналого-цифровая или полностью цифровая обработка сигналов.

**Комбинированные (гибридные) кодеки** сочетают в себе технологию вокодерного преобразования/синтеза речи, но оперируют уже с цифровым сигналом посредством специализированных сигнальных процессоров. Кодеки этого типа содержат в себе ИКМ или АДИКМ кодек и реализованный цифровым способом вокодер.

алгоритм	скорость передачи кбит/с	название стандарта	субъективное качество	задержка при обработке	область применения
ИКМ	64	ITU-T G.711	4,1	0,75 мс	телефонные сети
АДИКМ	32	ITU-T G.726	3,8	1 мс	телефонные сети
IMBE	6,4	INMAR-SAT-M	3,1	35 мс	спутниковая телефония
LD-CELP	16	ITU-T G.728	3,6	от 3 до 5 мс	телефонные сети
RPE-LTP	13	ETSI GSM	3,3	30 мс	сотовая телефония (Европа)
MP-MLQ	6,3	ITU-T G.723.1	3,9	30 мс	телефонные сети
ACELP	5,3	ITU-T G.723.1	3,7	30 мс	телефонные сети
ACELP	4,8	ETSI TETRA	3,4	30 мс	сотовая телефония (Европа)
CS-ACELP	8	ITU-T G.729	3,9	10 мс	телефонные сети
MELP	2,4	США (проект)	3,5	50 мс	мин. обороны США

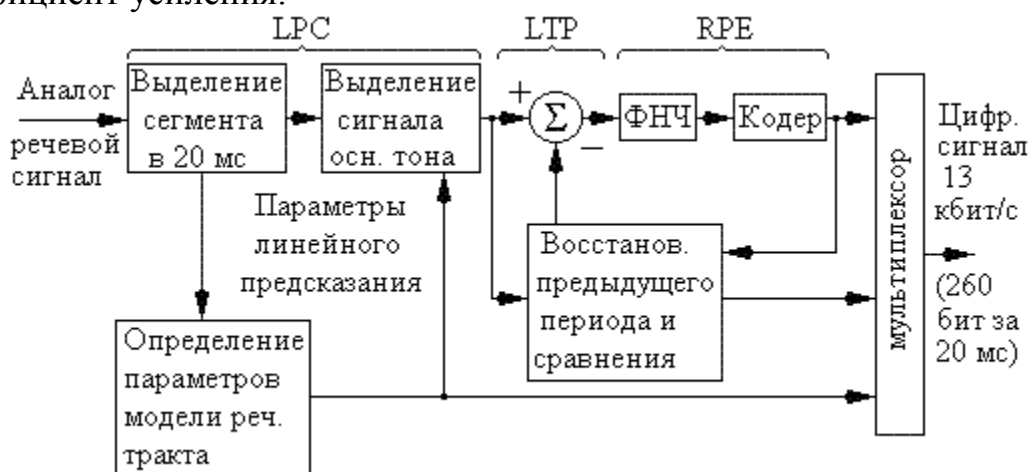
### Вокодер GSM (схема кодера)

Для того чтобы иметь высокое качество передачи речи более низких требованиях к скорости передачи информации, в GSM используется способ кодирования, объединяющий вокодеры и дифференциальную ИКМ, который получил название дифференциального кодирования.

Вокодерное преобразование основано на использовании особенностей речевых органов человека. По сути дела голосовые связки человека генерируют частоту, которая далее модулируется горлом и ртом, как фильтром. Зная в каждый момент времени частоту и параметры “фильтра”, можно восстановить исходный сигнал. Учитывая инертность голосовых органов человека, можно считать, что за

небольшой промежуток времени ( $10\div 30$ мс) они не изменяют своего состояния, т.е. остаются постоянными частота и параметры “фильтра”. Следовательно, если брать отрезки речевого сигнала по 20 мс, определять частоту основного тона и параметры “фильтра” речеобразующего тракта, то по ним легко можно восстановить исходный сигнал. Так при кодировании с линейным предсказанием определяется и передается следующая информация:

- параметры модели речеобразующего тракта;
- характер возбуждения (гласный или звонкий согласный звук в сопоставлении с глухими звуками);
- период основного тона;
- коэффициент усиления.



Структурная схема кодера GSM.

Естественно в фиксированные промежутки времени голосовые органы человека не остаются в фиксированном положении, и возбуждения носят более комплексный характер, чем передаваемый характер возбуждения и период основного тона. Это приводит к заметному ухудшению качества восстановленной речи.

Таким образом, дифференциальное кодирование подразумевает деление речевого сигнала на отрезки в 20 мс с последующим их кодированием.

Вначале формируется сегменты речевого сигнала в 20мс. Далее определяются сигнал основного тона и параметры линейного предсказания. Учитывая корреляцию периодов сигнала основного тона, формируется разностный сигнал как разность поступившего и предшествующего периодов. После выделения спектра основного сигнала с помощью фильтра низких частот (ФНЧ) производится его кодирование. В результате кодирования получаем 260 бит, характеризующих сегмент речевого сигнала в 20мс. Следовательно, требуемая скорость передачи информации составит 13кбит/с. Данный кодер получил название кодера с регулярным импульсным возбуждением /долговременным предсказанием и линейным кодированием с предсказанием (RPE/LTP-LPC – кодер).

## Иерархии цифровых систем передачи

Структура первичной сети предопределяет объединение и разделение потоков передаваемой информации, поэтому используемые на ней системы передачи строятся по *иерархическому принципу*. Цифровая система передачи (ЦСП), соответствующая первой ступени иерархии, называется первичной; в ней осуществляется прямое преобразование относительно небольшого числа сигналов в первичный цифровой поток. Системы передачи второй ступени иерархии объединяют определенное число первичных потоков во вторичный и т.д. Число каналов ЦСП, соответствующее данной ступени иерархии, больше числа каналов ЦСП предыдущей ступени в целое число раз.

В рекомендациях МСЭ-Т представлено два типа иерархий ЦСП: плезиохронная цифровая иерархия (ПЦИ) и синхронная цифровая иерархия (СЦИ). Первичным сигналом для всех типов ЦСП является цифровой поток со скоростью передачи 64 кбит/с, называемый основном цифровом каналом (ОЦК). Для объединения сигналов ОЦК в групповые высокоскоростные цифровые сигналы используется принцип временного разделения каналов.

### Плезихронная цифровая иерархия

Скорости цифровых потоков одной и той же ступени ПЦИ, но образуемых ЦСП, расположенными на различных станциях сети, могут несколько отличаться друг от друга в пределах допустимой нестабильности частот задающих генераторов. Именно поэтому рассматриваемая иерархия ЦСП называется плезиохронной.

Основные характеристики систем, входящих в плезиохронную иерархию									
Уровень цифровой иерархии	характеристики систем иерархии								
	Европейские системы			Американские системы			Японские системы		
	Коэффициент мультиплексирования	Число каналов	Скорость Кбит/с	Коэффициент мультиплексирования	Число каналов	Скорость Кбит/с	Коэффициент мультиплексирования	Число каналов	Скорость Кбит/с
0		1	64		1	64		1	64
1	30	30	2048	24	24	1544	24	24	1544
2	4	120	8448	4	96	6312	4	96	6312
3	4	480	34368	7	672	44736	5	480	32064
4	4	1920	139264				3	1440	97728

К использованию на сетях связи РФ принята европейская ПЦИ.

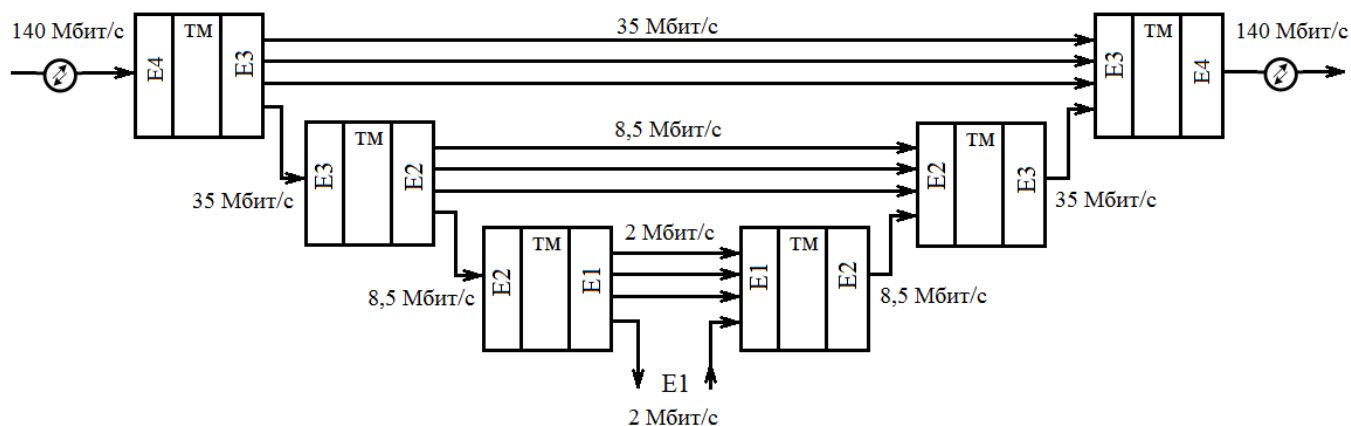
В ЦСП групповой сигнал представляет собой непрерывную последовательность следующих друг за другом циклов. **Цикл передачи** это интервал времени, в течение которого передаются кодовые комбинации всех каналов системы передачи и символы необходимых служебных сигналов (синхронизации, СУВ, ДИ и др.). Для ЦСП, в которых осуществляется аналого-цифровое преобразование сигналов длительность цикла  $T_{\text{ц}}$  выбирается равной периоду дискретизации  $T_{\text{д}}$ , т.е.  $T_{\text{ц}}=T_{\text{д}}=125$  мкс (при  $F_{\text{д}}=8$  кГц).

Правильное восстановление исходных сигналов на приеме возможно только при синхронной и синфазной работе генераторного оборудования (ГО) на передающей и

приемной станциях. Для нормальной работы плезиохронных ЦСП должны быть обеспечены следующие виды синхронизации:

- тактовая синхронизация обеспечивает правильное разделение принимаемого из линии сигнала на импульсы и тактирование с тактовой частотой  $F_T$  операций обработки цифровых сигналов в узлах ЦСП;
- цикловая синхронизация обеспечивает правильное разделение цифрового потока по соответствующим каналам в приемной части аппаратуры;
- сверхцикловая синхронизация обеспечивает на приеме правильное распределение межстанционных сигналов управления и взаимодействия (СУВ) по соответствующим каналам. СУВ представляют собой набор сигналов, управляющих работой станционного оборудования (набор номера, ответ, отбой, разъединение...)

Нарушение хотя бы одного из видов синхронизации приводит к потере связи по всем каналам ЦСП.

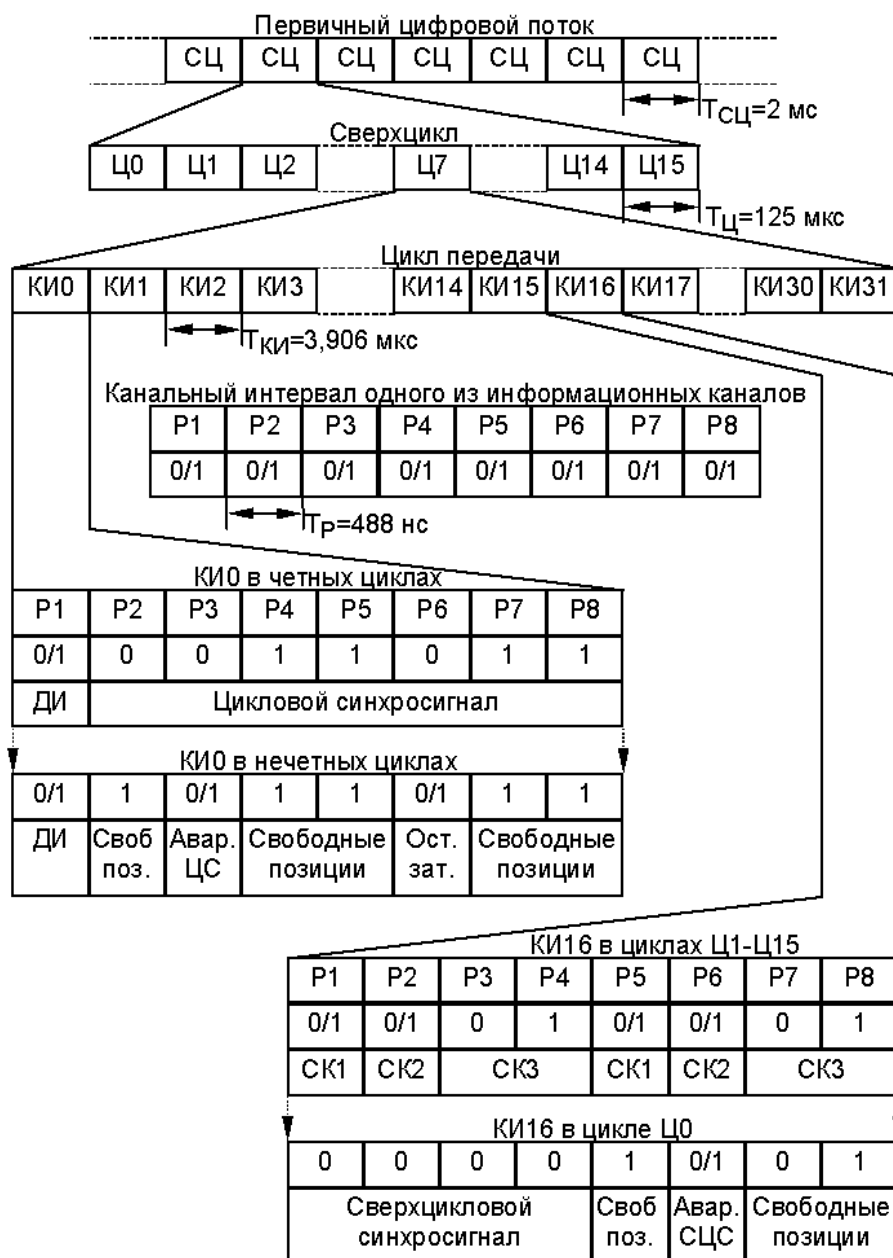


### Первичный цифровой поток E1

Поток E1 организуется объединением 30-ти информационных ОЦК и 2 служебных.

В первичных ЦСП цикл передачи разделяется на  $N_{ки}$  канальных интервалов, причем  $N_{ки} = N_{инф} + N_{сл}$ , где  $N_{инф}$  – число информационных интервалов, равное числу каналов, а  $N_{сл}$  – количество служебных канальных интервалов, выделенных для передачи служебных сигналов. Обычно принимается следующая нумерация канальных интервалов: КИ0, КИ1, КИ2, КИ3, ..., КИ $_{N-1}$ . Очевидно, длительность канального интервала  $T_{ки} = T_{ц} / N_{ки}$ . Каждый из канальных интервалов содержит  $m$  импульсных позиций (обычно  $m=8$ , так как применяется восьмиразрядный нелинейный код), которые также называют тактовыми интервалами (ТИ). Длительность ТИ, очевидно,  $T_{ти} = T_{ки} / m$ , а общее число ТИ в цикле передачи  $n = m N_{ки}$ . В каждом тактовом интервале может быть передан один двоичный символ (1 или 0), причем чаще всего передача импульсов осуществляется со скважностью, равной 2, т.е. длительность импульса (1)  $T_{и} = 0,5 T_{ти}$ .

Канальные интервалы КИ1÷КИ15, КИ17÷КИ31 отведены под передачу информационных сигналов. КИ0 и КИ16 – под передачу служебной информации. Интервалы КИ0 в четных циклах предназначаются для передачи циклового синхросигнала (ЦСС), имеющего вид 0011011 и занимающего разряды Р2÷Р8. В 1 разряде всех циклов передается информация постоянно действующего канала передачи данных (ДИ). В нечетных циклах разряды Р3 и Р6 КИ0 используются для передачи информации о потере цикловой синхронизации (Авар. ЦС) и снижении остаточного затухания каналов до значения, при котором в них может возникнуть самовозбуждение (Ост. зат.). Разряды Р4, Р5, Р7 и Р8 являются свободными, их занимают единичными сигналами для улучшения работы выделителей тактовой частоты.



В КИ16 нулевого цикла (Ц0) передается сверхцикловой синхросигнал вида 0000 (Р1÷Р4), а также сигнал о потере сверхцикловой синхронизации (Р6 - Авар. СЦС). Остальные три разряда свободны. В канальном интервале КИ16 остальных циклов (Ц1÷Ц15) передаются сигналы служебных каналов СК1 и СК2, причем в Ц1 передаются СК для 1-го и 16-го каналов ТЧ, в Ц2 - для 2-го и 17-го и т.д.

## Вторичный цифровой поток Е2

Поток Е2 образован побитным объединением 4 первичных потоков Е1 и содержит 120 телефонных каналов.

Цикл передачи имеет длительность 125 мкс и состоит из 1056 позиций, из них  $1024 \pm 4$  информационных. Цикл разделен на 4 субцикла одинаковых по длительности. Скорость передачи Е2 составляет 8448 кбит/с.

№ поз.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...				263	264
1 суб-цикл	цикловый синхросигнал								Побитно объединенная информация 4 первичных потоков									
	1	1	1	0	0	1	1	0										
2 суб-цикл	первые символы КСС				Служебная связь				Побитно объединенная информация 4 первичных потоков									
3 суб-цикл	вторые символы КСС				ПДИ		Авар. и сигн.	Вызов СС	Побитно объединенная информация 4 первичных потоков									
4 суб-цикл	третьи символы КСС				Информ. биты при отрицательном СС				Вставки при положительном СС				Побитно объединенная информация 4 первичных потоков					
T/4 = 125/4 = 31,25 мкс																		

Первые восемь бит первого субцикла заняты комбинацией 11100110, представляющий собой цикловой синхросигнал объединенного потока. Первые четыре бита второго субцикла заняты первыми символами команд согласования скоростей (КСС), а следующие четыре - сигналами служебной связи. Вторые и третьи символы КСС занимают первые четыре бита третьего и четвертого субциклов. Распределение символов КСС позволяет защитить команды от воздействия пакетов импульсных помех. Биты 5-8 третьего субцикла используются для передачи сигналов данных (два бита), аварийных сигналов и вызова по каналу служебной связи (по одному биту). В битах 5-8 четвертого субцикла передается информация объединяемых потоков при ОСС. При ПСС исключаются биты 9-12 четвертого субцикла.

Поскольку операция согласования скоростей производится не чаще чем через 78 циклов, позиции с 5÷8 субцикла 4 занимаются очень редко, и поэтому их используют для передачи информации о промежуточных значениях и характере изменения скоростей объединяемых потоков.



## Третичный цифровой поток ЕЗ

Поток Е3 образован побитным объединением 4 вторичных потоков Е2 и содержит 480 телефонных каналов.

№ поз.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	...	715	716	
1 суб-цикл	цикловый синхросигнал												Побитно объединенная информация 4 вторичных потоков							
2 суб-цикл	первые символы КСС			Служебн связь		контр. и сигн.		вторые символы КСС				Побитно объединенная информация 4 вторичных потоков								
3 суб-цикл	третьи символы КСС			ПДИ				Информ. биты при отрицательном СС				Вставки при положительном СС				Побитно объединенная информация 4 вторичных потоков				
T/3 = 62,5/3 = 20,833 мкс																				

Цикл передачи имеет длительность 62,5 мкс, что в 2 раза меньше периода дискретизации и состоит из 2148 позиций из них информационных – 2112±4. Цикл разделен на 3 субцикла одинаковых по длительности, в каждом из которых содержится по 716 позиций. Скорость передачи E3 составляет 34 368 кбит/с.

Такая структура цикла и его длительность предопределены необходимостью относительно частого повторения циклового синхросигнала.

## Четвертичный цифровой поток E4

Поток Е4 образован побитным объединением 4 третичных потоков Е3 и содержит 1920 телефонных каналов. Скорость передачи – 139 264 кбит/с.

Линейный сигнал разделён на циклы, следующие с частотой 64 кГц ( $T=15,625$  мкс) и содержит 2176 позиций, из них  $2148 \pm 4$  информационных. Цикл разделен на 4 субцикла одинаковых по длительности.

№ поз.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...	543	544	
1 суб-цикл	цикловый синхросигнал										Служ. Связь	контр. и ситн	Побитно объединенная информация 4 третичных потоков			
2 суб-цикл	первые символы КСС				Побитно объединенная информация 4 третичных потоков											
3 суб-цикл	вторые символы КСС				Побитно объединенная информация 4 третичных потоков											
4 суб-цикл	третьи символы КСС				Информ. биты при отрицательном СС				Вставки при положительном СС				Побитно объединенная информация 4 третичных потоков			
T/4 = 15,625/4 = 3,90625 мкс																

## Синхронная цифровая иерархия

В настоящее время единой мировой технологией, используемой для построения телекоммуникационных сетей, является синхронная цифровая иерархия (СЦИ) (*Synchronous Digital Hierarchy - SDH*), которая позволяет создавать гибкие, надежные, удобные для эксплуатации, контроля и управления сети, гарантируя высокое качество связи и обслуживания.

Сети SDH относятся к классу сетей с коммутацией каналов, использующих синхронное мультиплексирование с разделением времени.

### Главные достоинства сети SDH:

**Гибкая иерархическая схема мультиплексирования цифровых потоков** разных скоростей, позволяет вводить в магистральный канал и выводить из него пользовательскую информацию любого поддерживаемого технологией уровня скорости, не демультиплексируя магистральный поток в целом – а это означает не только гибкость, но и экономию оборудования. Схема мультиплексирования стандартизована на международном уровне, что обеспечивает совместимость оборудования разных производителей.

**Отказоустойчивость сети.** Сети SDH обладают высокой степенью "живучести" – технология предусматривает автоматическую реакцию оборудования на любые отказы, направляя трафик по резервному пути или переходя на резервный модуль. Автоматическое резервное переключение происходит согласно требованиям стандарта ITU-T – не более чем за 50 мс.

**Мониторинг и управление сетью** осуществляется на основе информации, встроенной в заголовки кадров. Это обеспечивает обязательный уровень управляемости сети, не зависящий от производителя оборудования, и создает основу для наращивания функций менеджмента в фирменных системах управления.

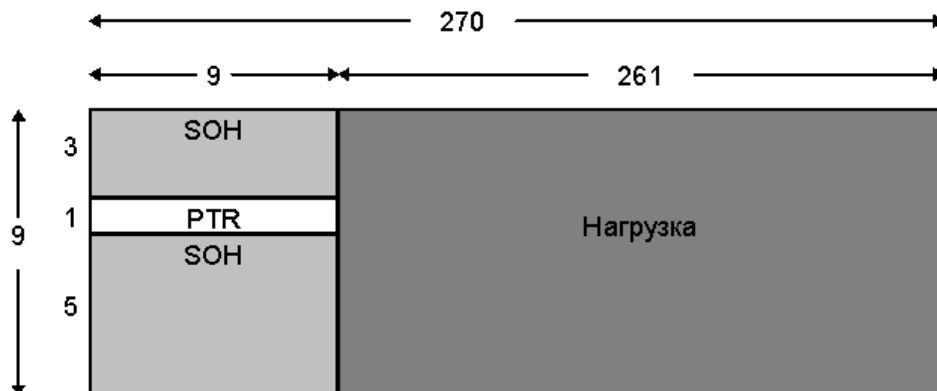
**Высокое качество транспортного обслуживания** для трафика любого типа – голосового, видео и данных. Техника временного мультиплексирования, лежащая в основе SDH, и принцип контейнерных перевозок, обеспечивают трафику каждого абонента постоянную гарантированную полосу пропускания.

### Структура кадра STM-1

Линейные сигналы СЦИ организованы в так называемые синхронные транспортные модули STM (*Synchronous Transport Module*) Первичным цифровым потоком SDH является STM-1, который состоит из 2430 байт (9 строк по 270 байт). Период передачи STM-1 составляет 125 мкс, что соответствует частоте повторения 8кГц. Каждый байт модуля соответствует каналу со скоростью передачи 64 кбит/с.

STM-1 содержит три основных блока:

- секционный заголовок SOH (Section Overhead)
- блок нагрузки (payload)
- указатель PTR (pointer)



Блок SOH размером 8\*9 байт несет служебную информацию, в том числе синхросигнал, байты для обслуживания, контроля и управления. Подразделяется на заголовок регенерационной секции (RSOH - regenerator SOH) и заголовок мультиплексной секции (MSOH - multiplex SOH).

Сигналы нагрузки (от 2 до 140 Мбит/с в соответствии с рек. G.702) транспортируются в области нагрузки размером 9\*261 байт. Эти сигналы объединяются в модуль STM-1 в соответствии с определенными правилами, рекомендованными ITU-T. (G.702, G.703, G.704, G.707, G.708, G.709, G.773, G.774, G.782, G.783, G.784, G.957, G.958, Q.811, Q.812 и ETSI – ETS 300 147)

Начальное положение нагрузки в кадре STM фиксируется в указателе PTR, что дает возможность доступа к конкретным пользовательским каналам без необходимости полного демультиплексирования STM-1.

В России в настоящее время комитетом МСЭ-Т стандартизированы уровни:

- STM-1 – 155,52 Мбит/с;
- STM-4 – 4 x 155,52 Мбит/с = 622,08 Мбит/с;
- STM-16 – 16 x 155,52 Мбит/с = 2,488 32 Гбит/с;
- STM-64 – 64 x 155,52 Мбит/с = 9,953 28 Гбит/с;
- STM-256 – 256 x 155,52 Мбит/с = 39,813 12 Гбит/с;
- STM-RR (STM-0) – 155,52 / 3 Мбит/с = 51,84 Мбит/с.

Высокоскоростные цифровые потоки SDH передаются в ВОЛС в скремблированном NRZ коде.

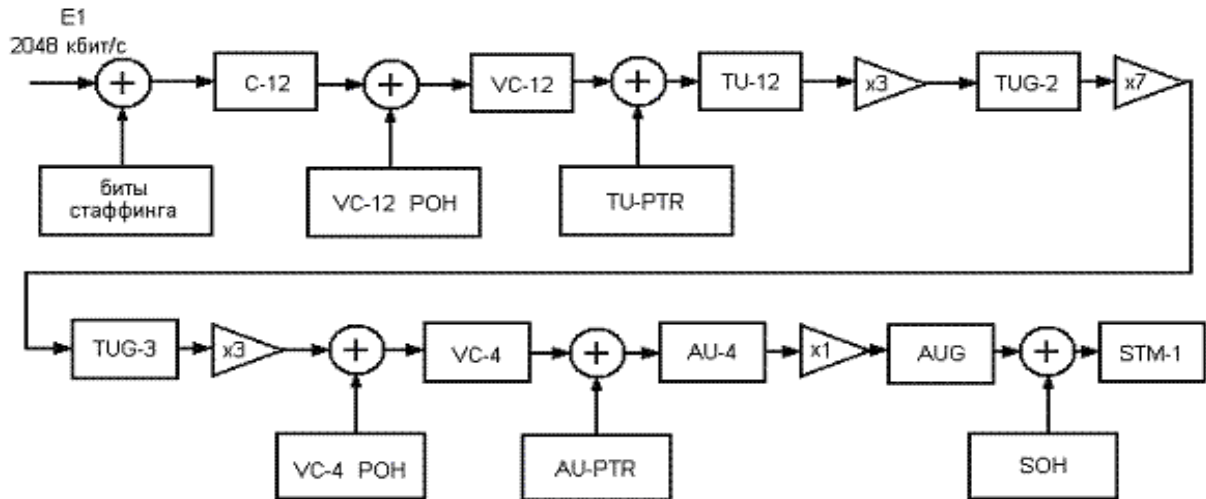
В сети СЦИ используется принцип контейнерных перевозок. Подлежащие транспортированию сигналы предварительно размещаются в стандартных контейнерах C (Container). Все операции производятся с контейнерами независимо от их содержимого. Благодаря этому и достигается *прозрачность* сети СЦИ, т.е. возможность транспортировать любые виды сигналов электросвязи.

Схема мультиплексирования SDH предоставляет разнообразные возможности по объединению пользовательских потоков PDH. Например, для кадра STM-1 можно реализовать такие варианты:

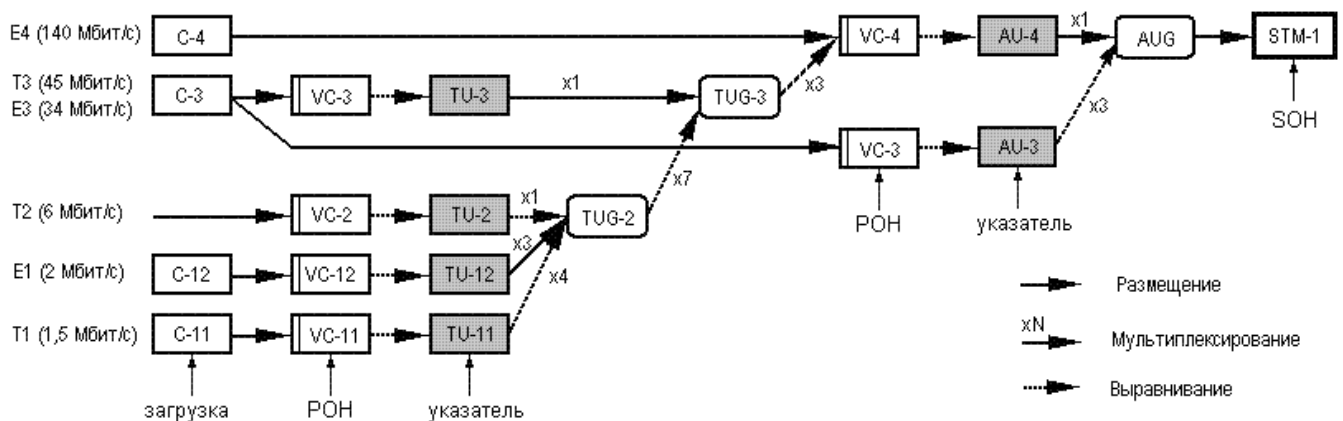
- 1 поток E4;
- 3 потока E3/T3;

- 2 потока E3 и 21 поток E1;
- 1 поток E3 и 42 потока E1;
- 63 потока E1;
- и другие.

В качестве примера рассмотрим процесс формирования синхронного транспортного модуля STM-1 из нагрузки потока E1.



Формирование синхронного транспортного модуля STM-1 из нагрузки потока E1



Европейская схема преобразования структур SDH при формировании STM-1

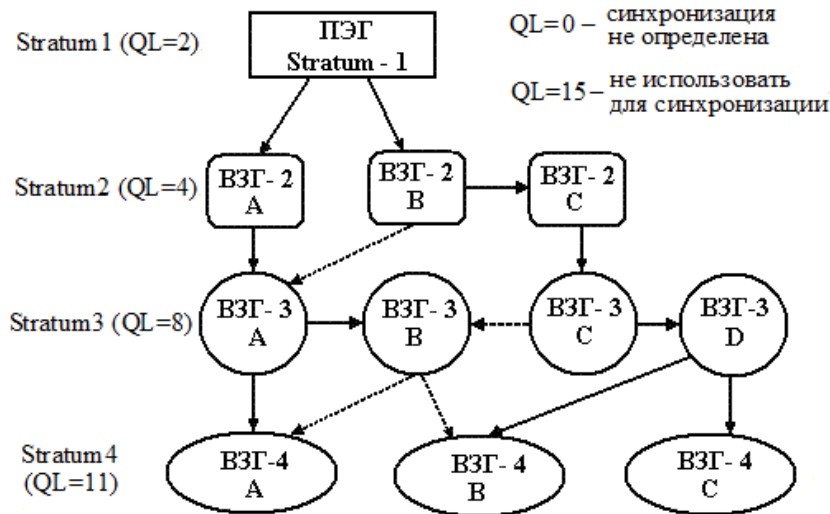
### Синхронизация в SDH

В сети SDH применяется иерархический метод принудительной синхронизации с парами "ведущий-ведомый таймер".

Мультиплексор SDH может использовать несколько дублирующих источников синхронизации:

1. Сигнал внешнего сетевого таймера с частотой 2048 кГц, называемого также **первичным эталонным генератором** в соответствии с рекомендациями G.811. Его точность должна быть не хуже  $1 \times 10^{-11}$ . ПЭГ это хранирующий атомный источник тактовых импульсов (цезиевые или рубидиевые часы). Его калибруют по сигналам **мирового скоординированного времени UTC** (Universal Time Coordinated).

2. Сигнал 2048 кГц, выделяемый из линейного (агрегатного) сигнала STM-N. Обычно точность такого источника синхронизации составляет  $5 \times 10^{-8}$ .
3. Синхросигнал с пользовательского (трибутарного) интерфейса PDH.
4. Сигнал внутреннего генератора узла SDH. Точность сигналов внутреннего таймера обычно невелика, порядка  $(1 \dots 5) \times 10^{-6}$ .



В России операторы связи используют в качестве источника синхронизации для своих сетей первичные эталонные генераторы, входящие в систему тактовой сетевой синхронизации ОАО "Ростелеком". Вся территория России разделена на 5 районов, в которых находятся эталонные атомные генераторы (центральный район – Москва, северный район – Санкт Петербург, южный район – Ростов на Дону, Сибирь – Новосибирск, Дальний восток – Хабаровск).

### Резервирование

В технологии SDH применяются различные механизмы обеспечения восстановления работоспособности сети в случае отказа. В SDH используется общий термин Automatic Protection Switching – "Автоматическое защитное переключение", отражающий факт перехода (переключения) на резервный путь или резервный элемент мультиплексора при отказе основного. Время переключения, согласно стандарта, не должно превышать 50 мс.

Схемы защиты: **1+1, 1:1, 1:N**.

Виды резервирования:

- Equipment Protection Switching, EPS – защита блоков и элементов оборудования SDH
- Card Protection, CP – защита агрегатных и трибутарных карт мультиплексора
- Multiplex Section Protection, MSP – защита мультиплексорной секции, то есть участка сети между двумя смежными мультиплексорами SDH
- Sub-Network Connection Protection, SNC-P – защита пути (соединения) через сеть для определенного виртуального контейнера
- Multiplex Section Shared Protection Ring, MS-SPRing – разделяемая между пользовательскими соединениями защита путей в кольцевой топологии

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

В настоящее время в развитых странах волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) широко внедряются на всех участках сетей связи. По сравнению с существующими системами связи на медных кабелях ВОСП обладают рядом преимуществ, основными из которых являются: широкая полоса пропускания, позволяющая организовать по одному волоконно-оптическому тракту необходимое число каналов с дальнейшим их наращиванием, а также предоставлять абоненту наряду с телефонной связью любые виды услуг связи (телевидение, телефакс, широкополосное радиовещание, телематическое и справочное обслуживание, рекламу, местную связь и др.); высокая защищенность от электромагнитных помех; малое километрическое затухание и возможность организации регенерационных участков большой протяженности; значительная экономия меди и потенциально низкая стоимость оптического кабеля (ОК) и др.

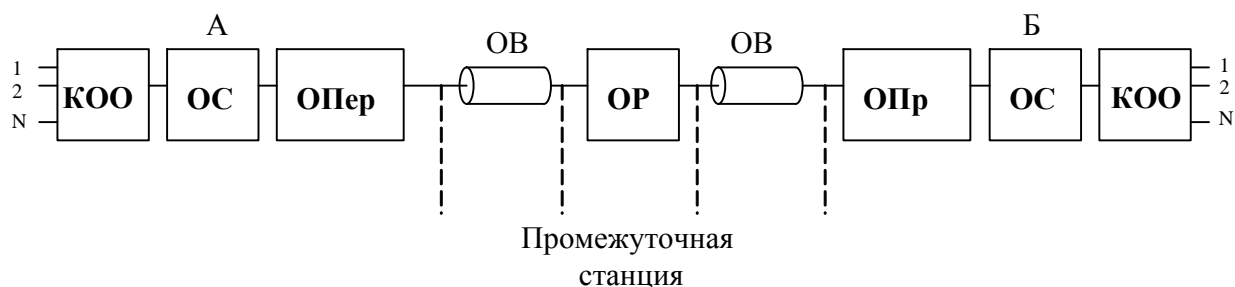


Рисунок 1. Принцип организации волоконно-оптической связи

На передающей станции А (рис.1) первичные сигналы в электрической форме поступают на каналообразующего оборудования (КОО), с выхода которой групповой сигнал подается в оборудование сопряжения (ОС). В ОС электрический сигнал преобразуется в форму, целесообразную для передачи по волоконно-оптическому линейному тракту. Оптический передатчик (ОПер) преобразует электрический сигнал с помощью модуляции оптической несущей в оптический сигнал. при распространении последнего по оптическому волокну (ОВ) происходят его ослабление и искажение. Для увеличения дальности связи через определенное расстояние, называемое участком ретрансляции, устанавливаются промежуточные обслуживаемые и необслуживаемые станции (оптические ретрансляторы – ОР), где осуществляются коррекция искажений и компенсация затухания.

На промежуточных станциях главным образом по техническим причинам целесообразно производить обработку (усиление, коррекцию, регенерацию и т.д.) электрического сигнала. Поэтому промежуточные станции ВОСП строятся с преобразованием на входе оптического сигнала в электрический сигнал и обратным преобразованием на выходе. В настоящее время возможно построение чисто оптических ретрансляторов на основе оптических квантовых усилителей и регенераторов. На приемной оконечной

станции Б осуществляется обратное преобразование оптического сигнала в электрический.

Для модуляции оптической несущей информационным сигналом можно использовать частотную модуляцию, фазовую, амплитудную, модуляцию по интенсивности (МИ), поляризационную модуляцию (ПМ) и др. В подавляющем большинстве случаев применяется модуляция по интенсивности оптического излучения. При фиксированных пространственных координатах мгновенное значение электрического поля монохроматического оптического излучения можно записать в виде:

$$E(t) = E_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где  $E_m$  – амплитуда поля;  $\omega_0$  и  $\varphi_0$  – соответственно частота и фаза оптической несущей. Тогда мгновенное значение интенсивности равно:

$$P_{мг} = E^2(t) = E_m^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0),$$

а усреднение по периоду  $T_0 = 2\pi/\omega_0$  дает величину  $P = 0,5E_m^2$ , которая называется средней интенсивностью или мощностью. При МИ именно величина  $P$  изменяется в соответствии с модулирующим сигналом  $c(t)$ . Обладая волновой природой, оптическое излучение в то же время дискретно. Оно излучается и поглощается только в виде дискретных квантов (фотонов) с энергией  $hf_0$ , где  $h$  – постоянная Планка. Поэтому мощность оптического излучения  $P$  можно характеризовать интенсивностью (количеством в единицу времени) потока фотонов  $J = P/hf_0$ . Следовательно, при модуляции интенсивности  $J(t) \sim c(t)$ .

Применение МИ объясняется тем, что этот вид модуляции в широком диапазоне частот выполняется для используемых в оптических передатчиках полупроводниковых источников излучения (светодиодов, лазерных диодов) простыми техническими средствами. Для управления интенсивностью излучения полупроводникового источника достаточно изменять ток инжекции (накачки) в соответствии с модулирующим сигналом. Это легко обеспечивается электронной схемой возбуждения в виде усилителя тока. Модуляция по интенсивности оптического излучения приводит и к простым решениям обратного преобразования оптического сигнала в электрический сигнал. Действительно, фотодетектор, входящий в состав фотоприемника, является квадратичным прибором, выходной ток которого пропорционален квадрату амплитуды оптического поля, т. е. мощности падающего на фоточувствительную поверхность оптического сигнала.

Рассмотренный принцип приема оптического сигнала относится к методу прямого фотодетектирования (некогерентный, энергетический прием). Другим методом приема является метод фотосмещения (когерентный, гетеродинный и гомодинный прием),

Гетеродинный прием реализуется значительно сложнее метода прямого детектирования и требует совмещения волнового фронта поля гетеродинного излучения с волновым фронтом поля сигнала. В результате

фотодетектирования суммарного поля выделяется сигнал промежуточной (разностной) частоты, амплитуда, частота и фаза которого соответствуют указанным параметрам принимаемого оптического сигнала.

Гомодинный прием отличается от гетеродинного тем, что частоты излучений гетеродина и передатчика совпадают. Он дает дополнительное улучшение отношения сигнал-шум до 3 дБ, но его практическая реализация еще более затруднена в связи с необходимостью фазовой автоподстройки частоты лазерного гетеродина.

В настоящее время в качестве оконечной аппаратуры ВОСП используются цифровые системы передачи, т. е. ВОСП строятся как цифровые. Это объясняется существенными преимуществами цифровых СП по сравнению с аналоговыми: высокой помехоустойчивостью; малой зависимостью качества передачи от длины линейного тракта; высокими технико-экономическими показателями и др. Аналоговые СП не применяются на волоконно-оптических трактах из-за сравнительно высокой нелинейности источников оптического излучения и технической сложности обеспечения требуемой помехозащищенности. Тем не менее, исследования в области аналоговых ВОСП показывают их перспективность в ряде областей (оптическое кабельное телевидение, телеметрия, системы оперативной и служебной связи).

В настоящее время ВОСП строятся как *двухволоконные однополосные однокабельные*. При таком построении передача и прием оптических сигналов ведутся по двум волокнам и осуществляются на одной длине волны  $\lambda$ . Каждое ОВ является эквивалентом двухпроводной физической цепи. Так как взаимные влияния между оптическими волокнами кабеля практически отсутствуют тракты передачи и приема различных систем организуются по одному кабелю, т. е. ВОСП являются однокабельными.

Принцип построения двухволоконной однокабельной однополосной ВОСП показан на рис. 1.2, где приняты обозначения: КОО - каналообразующее оборудование; ОС - оборудование сопряжения; ОПер - оптический передатчик; ОВ - оптическое волокно; Опр - оптический приемник. Достоинством такой ВОСП является использование однотипного оборудования трактов передачи и приема оконечных и промежуточных станций, а недостатком весьма низкий коэффициент использования пропускной способности ОВ.

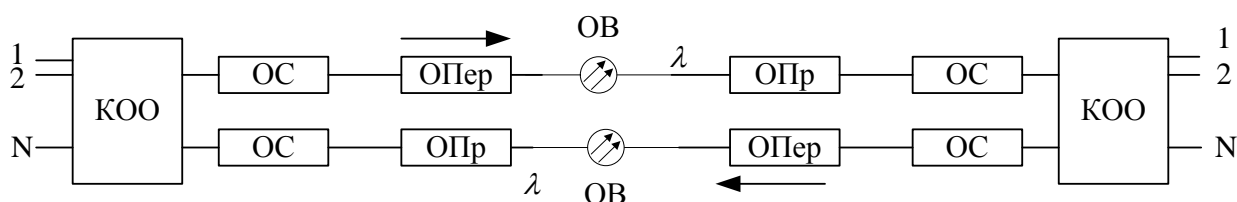


Рис.2 Принцип построения двухволоконной однополосной однокабельной ВОСП

С учетом того, что доля затрат на кабельное оборудование составляет значительную часть стоимости ВОСП, а цены на оптический кабель в настоящее время остаются достаточно высокими, возникает задача повышения



эффективности использования пропускной способности ОВ за счет одновременной передачи по нему большего объема информации. Этого можно добиться, например, передачей информации во встречных направлениях по одному ОВ (*однополосные одноволоконные однокабельные ВОСП*) при использовании на оконечных станциях оптических развязывающих устройств (ОРУ) (рис.3). Особенностью данной схемы является использование ОВ для передачи сигналов в двух направлениях на одной длине волны.

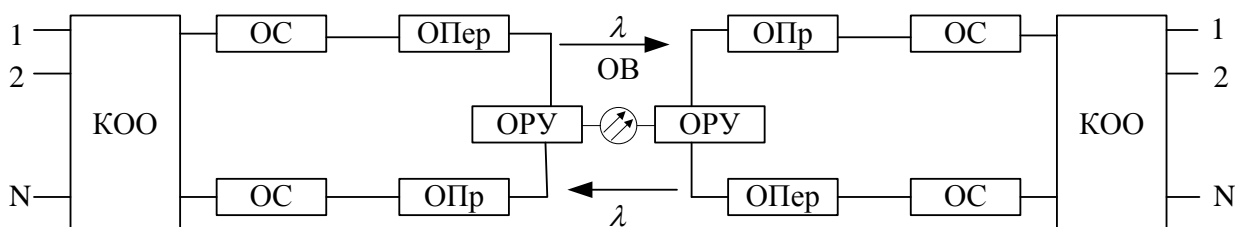


Рис. 1.3. Принцип построения одноволоконно однополосной однокабельной ВОСП

Принципиальной особенностью двусторонних (дуплексных) систем является наличие переходных помех между информационными потоками, распространяющихся во встречных направлениях. Переходные помехи возникают за счет обратного рэлеевского рассеяния в ОВ, ответвителях, из-за отражения света от сварных стыков и разъёмных соединений на концах линии, что ограничивает длину участка ретрансляции.

Принцип построения *одноволоконной двухполосной однокабельной ВОСП*, при которой передача в одном направлении ведется на длине волны  $\lambda_1$  в одном окне прозрачности, а прием осуществляется в другом окне прозрачности на длине волны  $\lambda_2$ , показан на рис. 1.4. Разделение направлений передачи и приема осуществляется с помощью *направляющих оптических фильтров (ОФ)*, настроенных на соответствующие длины волн оптического излучения.

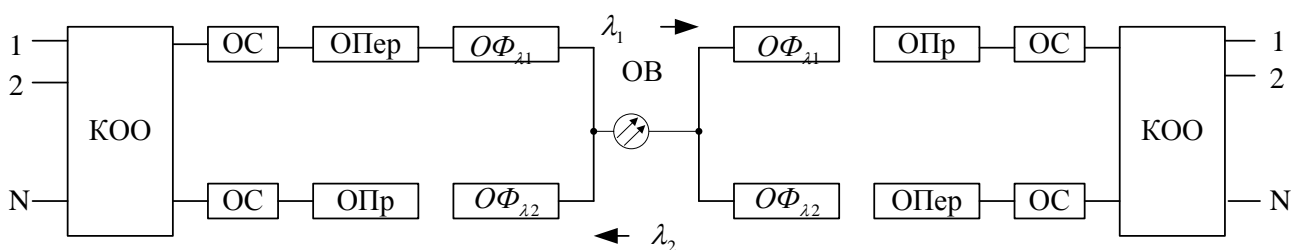


Рис.4. Принцип построения одноволоконно двухполосной однокабельной ВОСП

Наибольший интерес представляют ВОСП со спектральным разделением (ВОСП-СП). Такие системы строятся как *двухволоконные многополосные однокабельные* (рис.5). На передающей станции электрические сигналы от  $N$  систем передачи поступают на передатчики, излучающие оптические несущие с длинами волн  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_N$ . С помощью мультиплексоров (МП) и демульти-плексоров (ДМ) осуществляется их ввод в одно волокно на передаче и разделение на приеме. Таким образом, по одному

ОВ организуется N спектрально разделенных оптических каналов, что значительно увеличивает коэффициент использования пропускной способности волокна.

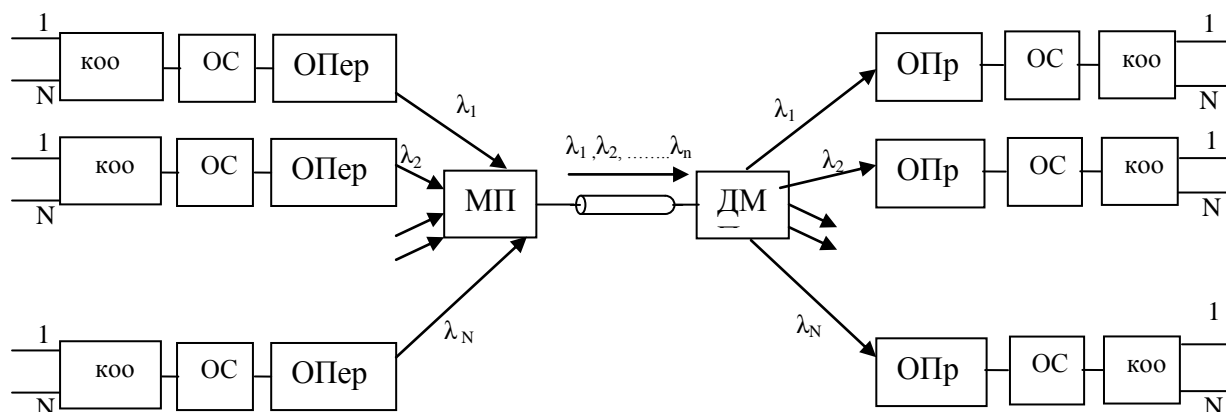


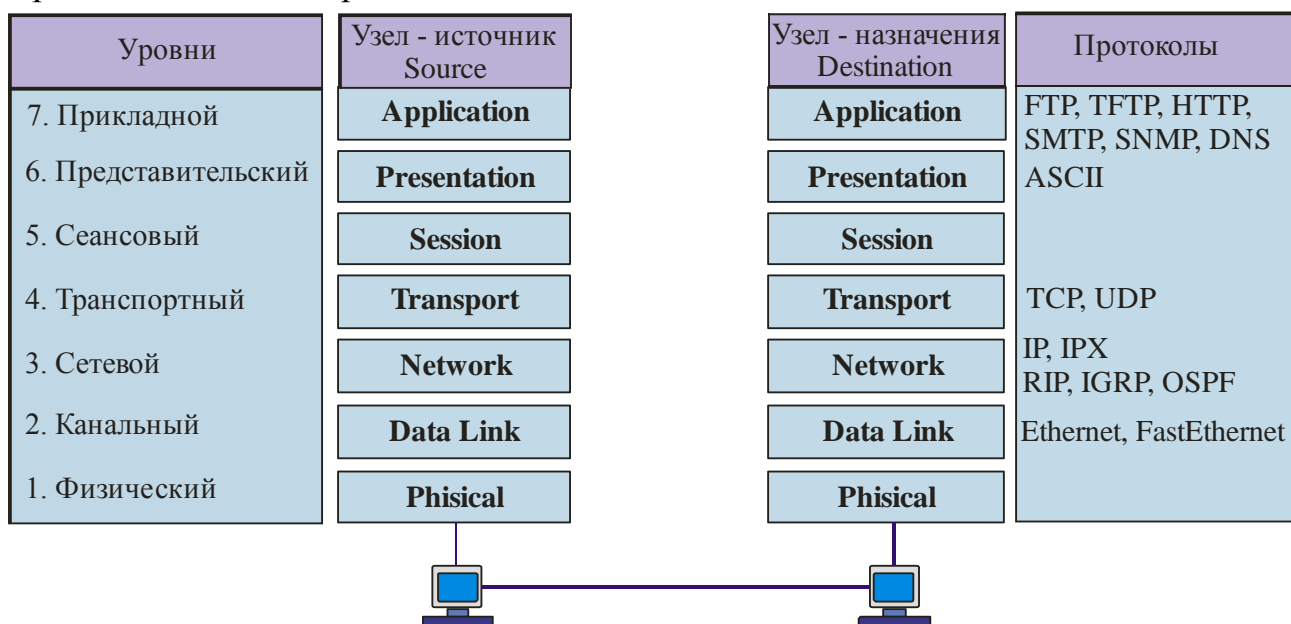
Рис.5. Структурная схема ВОСП – СР

Принцип работы мультиплексора и демультиплексора основан на известных явлениях физической оптики: дисперсии, дифракции и интерференции. В основе их структуры может быть оптическая призма, многослойный диэлектрик, дифракционная решетка и др.

## Семиуровневая модель взаимодействия открытых систем

Международная организация стандартов (International Standards Organization - **ISO**) создала эталонную модель взаимодействия **открытых систем** (Open System Interconnection reference model - **OSI**), которая определяет концепцию и методологию создания сетей передачи данных. Модель описывает стандартные правила функционирования устройств и программных средств при обмене данными между узлами (компьютерами) в открытой системе. Открытая система состоит из программно-аппаратных средств, способных взаимодействовать между собой, при использовании **стандартных правил и устройств сопряжения** – называемых интерфейсами.

Модель ISO/OSI включает семь уровней взаимодействия двух устройств: узла источника – source и узла назначения – destination. Правила, по которым происходит обмен данными между программно-аппаратными средствами, находящимися на одном уровне, называется **протоколом**. Набор взаимодействующих протоколов называется **стеком протоколов** и задается определенным стандартом.



Семиуровневая модель ISO/OSI

Взаимодействие соответствующих уровней является **виртуальным**, за исключением физического уровня, на котором происходит обмен данными по линиям связи, соединяющим компьютеры. Взаимодействие уровней между собой происходит через межуровневый **интерфейс** и каждый нижележащий уровень предоставляет услуги вышележащему.

Виртуальный обмен между соответствующими уровнями узлов HostA и HostB происходит определенными единицами информации. На трех верхних

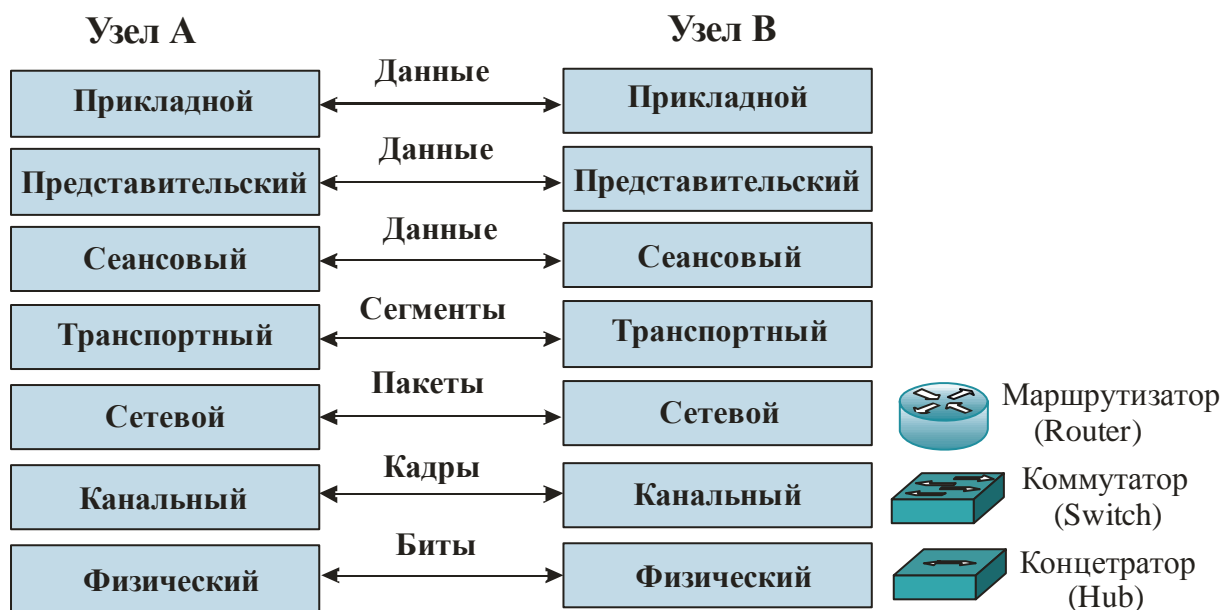
уровнях – это сообщения или данные (Data). На транспортном уровне – сегменты (Segment), на сетевом уровне – пакеты (Packet), на канальном уровне – кадры (Frame) и на физическом передается поток битов.

Для каждой сетевой технологии существуют свои протоколы и свои технические средства, часть из которых имеет условные обозначения, приведенные на рисунке. Данные обозначения введены фирмой **Cisco** и стали общепринятыми.

Среди технических средств физического уровня следует отметить кабели, разъемы, повторители сигналов (repeater), многопортовые повторители или концентраторы (**hub**), преобразователи среды (transceiver), например, преобразователи электрических сигналов в оптические и наоборот.

На канальном уровне это мосты (bridge), коммутаторы (**switch**).

На сетевом уровне – маршрутизаторы (**router**). Сетевые адаптеры (Network Interface Card – NIC) функционируют как на канальном, так и на физическом уровне.



Устройства и единицы информации соответствующих уровней

При передаче данных от источника к узлу назначения, подготовленные на прикладном уровне передаваемые данные последовательно проходят от самого верхнего Прикладного уровня 7 узла источника информации до самого нижнего – Физического уровня 1, затем передаются по физической среде узлу назначения, где последовательно проходят от нижнего уровня 1 до уровня 7.

**Прикладной** самый верхний уровень (Application Layer) 7 оперирует наиболее общей единицей данных – сообщением. На этом уровне реализуется управление общим доступом к сети, потоком данных, сетевыми службами, такими как **FTP, TFTP, HTTP, SMTP, SNMP** и др.

**Представительский** уровень (Presentation Layer) 6 изменяет форму представления данных. Например, передаваемые с уровня 7 данные преобразуются в общепринятый формат **ASCII**. При приеме данных происходит обратный процесс. На уровне 6 также происходит шифрация и сжатие данных.

**Сеансовый** (Session Layer) уровень 5 устанавливает соединение двух компьютеров, определяет, какой компьютер является передатчиком, а какой приемником, задает для передающей стороны время передачи, а для приёмной – синхронизацию.

**Транспортный** уровень (Transport Layer) 4 из длинного сообщения узла источника информации формирует сегменты определенного объема, а короткие сообщения может объединять в один сегмент. В узле назначения происходит обратный процесс. Кроме того, транспортный уровень обеспечивает **надежную доставку пакетов**. При обнаружении потерь и ошибок на этом уровне формируется запрос повторной передачи, при этом используется протокол **TCP**. Когда необходимость проверки правильности доставленного сообщения отсутствует, то используется более простой протокол **UDP**.

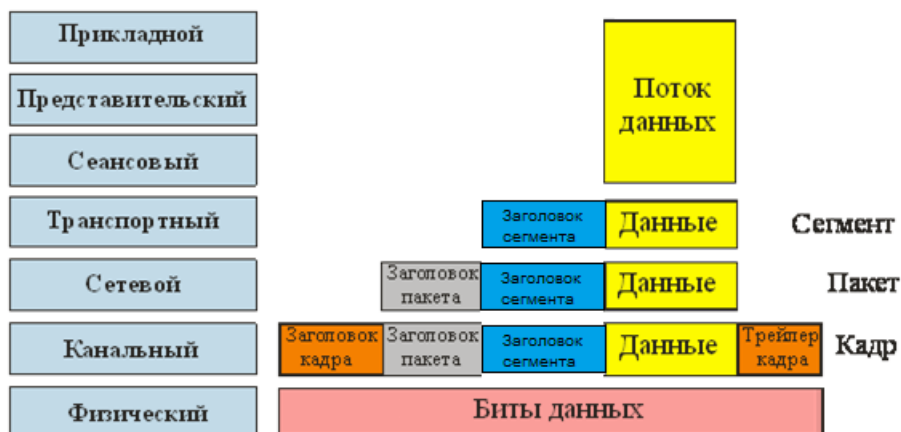
**Сетевой** уровень (Network Layer) 3 адресует сообщение, задавая единице передаваемых данных (**пакету**) логический сетевой адрес, определяет **маршрут**, по которому будет отправлен **пакет данных**, транслирует логические сетевые адреса в физические, а на приемной стороне – физические адреса в логические.

**Канальный** уровень (Data Link) 2 формирует из пакетов **кадры** данных (**frames**). На этом уровне задаются **физические адреса** устройства-отправителя и устройства-получателя данных. На этом же уровне к передаваемым данным производится прибавление контрольной суммы, определяемой с помощью алгоритма циклического кода. На приемной стороне по контрольной сумме определяют и по возможности исправляют ошибки.

**Физический** уровень (Physical) 1 осуществляет передачу потока битов по соответствующей физической среде (электрический или оптический кабель, радиоканал) через соответствующий интерфейс. На этом уровне производится линейное кодирование данных, синхронизация передаваемых битов информации.

Протоколы трех верхних уровней являются сетенезависимыми, три нижних уровня являются сетезависимыми. Связь между тремя верхними и тремя нижними уровнями происходит на транспортном уровне.

Важным процессом при передаче данных является **инкапсуляция** (encapsulation) данных. Передаваемый поток данных, сформированный приложением, проходит три верхних сетенезависимых уровня и поступает на транспортный уровень, где формируются сегменты данных. В заголовке сегмента содержится номер протокола прикладного уровня, с помощью которого подготовлено сообщение и порядковый номер сегмента.

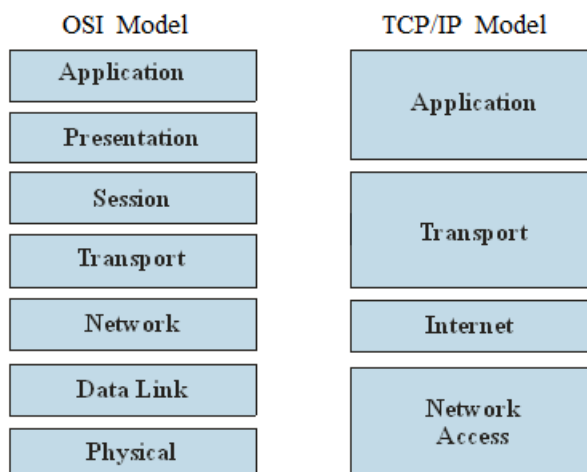


### Инкапсуляция данных

На сетевом уровне к сегменту добавляется заголовок (**header**), который содержит специфическую для данного уровня информацию, прежде всего, сетевые (логические) адреса отправителя информации (источника) – Source Address (**SA**) и адрес получателя (назначения) – Destination Address (**DA**). При этом формируется **пакет** данных.

На канальном уровне к пакету добавляется новый заголовок, содержащий физические адреса источника и следующего узла сети, через который пройдет сообщение, а также другую информацию. При этом формируется **кадр** или **фрейм** данных. Кроме того, на этом уровне добавляется **трейлер** (концевик) кадра, содержащий информацию, необходимую для проверки правильности принятой информации. Таким образом, происходит обрамление данных заголовками со служебной информацией, т.е. **инкапсуляция** данных.

Помимо семиуровневой OSI модели на практике применяется четырехуровневая модель TCP/IP.



### Модели OSI и TCP/IP

Прикладной уровень модели TCP/IP по названию совпадает с названием модели OSI, но по функциям гораздо шире, поскольку охватывает три верхних сетенезависимых уровня (прикладной, представительский и сеансовый). Транспортный уровень обеих моделей и по названию, и по функциям одинаков. Сетевой уровень модели OSI соответствует межсетевому (internet) уровню модели TCP/IP, а два нижних уровня (канальный и физический) представлены объединенным уровнем Network Access.

Основная информация, добавляемая в заголовках сообщений на разных уровнях OSI модели.

Физический уровень	Канальный уровень	Сетевой уровень	Транспортный уровень	Верхние уровни
Частотно-временные параметры и синхронизация	Физические адреса узлов источника и назначения	Логические адреса узлов источника и назначения	Номера порта узлов источника и назначения	Сопряжение пользователей с сетью

На транспортном уровне в заголовке сегмента задаются номера портов приложений источника и назначения. Номера портов адресуют приложения или сервисы прикладного уровня, которые создавали сообщение и будут его обрабатывать на приемной стороне. Например, сервер электронной почты с номерами портов 25 и 110 позволяет посылать e-mail сообщения и принимать их, № порта 80 адресует веб-сервер.

Для обмена сообщениями, помимо номеров портов, на сетевом уровне в заголовке пакета необходимо задать логические адреса источника и назначения. К логическим адресам относятся, например, IP-адреса пользователей. В документации IP-адреса используемой в настоящее время версии IPv4 отображаются в десятичной форме в виде четырех групп чисел. Каждая группа может содержать числа от 0 до 255. Группы разделены между собой точками, например, 192.168.10.21; 172.16.250.17; 10.1.10.122.

В дополнение к логическим адресам на канальном уровне в заголовке кадра задаются физические адреса устройства-источника и устройства-назначения. Наиболее широко распространенной сетевой технологией канального уровня в настоящее время является Ethernet или её модификации (Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10Gigabit Ethernet). При этом в качестве физических адресов используются MAC-адреса (Media Access Control). В документации MAC-адреса представлены в виде 12 шестнадцатеричных чисел, например, 00-05-A8-69-CD-F1. Тот же адрес может быть представлен и в несколько другой форме

00:05:A8:69:CD:F1 или 0005.A869.CD-F1. MAC-адреса компьютеров прошиты в ПЗУ сетевой карты.

Таким образом, тройная система адресации позволяет адресовать устройства, пользователей и программное обеспечение приложений.



## АДРЕСАЦИЯ В IP - СЕТЯХ

### Логические адреса версии IPv4

Все узлы IP-сети имеют уникальные физические и логические адреса. Физический MAC-адрес устанавливается изготовителем аппаратных средств, и «прошивается» в ПЗУ. Логический адрес устанавливается пользователем (администратором) или назначается динамически протоколом DHCP из диапазона выделенных адресов. Логический адрес узлов в IP-сетях версии **IPv4**, содержит 32 двоичных разряда, т.е. 4 байта, которые отображаются десятичными числами и разделяются точкой, например, 172.100.220.14. Старшие разряды этого адреса являются номером сети, а младшие – номером узла в сети. Таким образом, IP-адреса являются иерархическими, в отличие от плоских MAC-адресов. В соответствии с тем, какая часть адреса относится к номеру сети, а какая к номеру узла – адреса делятся на классы. Для адресации узлов используются три класса адресов.

Класс сети	Первый байт адреса	Наименьший адрес сети	Наибольший адрес сети	Максимальное число узлов
A (1_3)	0xxxxxxx	1.0.0.0	126.0.0.0 /8	$2^{24} - 2$
B (2_2)	10xxxxxx	128.0.0.0	191.255.0.0 /16	$2^{16} - 2$
C (3_1)	110xxxxx	192.0.0.0	223.255.255.0 /24	$2^8 - 2$
D	1110xxxx	224.0.0.0	239.255.255.255	multicast
E	11110xxx	240.0.0.0	247.255.255.255	Резерв

**Номер узла (адрес host) не может состоять только из одних единиц или нулей.** Если в поле адреса узла все нули, то это значит, что задается номер (адрес) сети или подсети. Если же в этом поле все двоичные разряды равны единице, то это означает широковещательный (broadcast) адрес, предназначенный всем узлам сети, в которой находится узел, сформировавший данный пакет.

Старший разряд адреса класса A всегда равен 0, поэтому адреса сетей могут находиться в диапазоне от 1 до 127. Однако **адрес 127.0.0.1** предназначен для **самотестирования**, по этому адресу узел обращается к самому себе, проверяя, установлен ли протокол TCP/IP на этом хосте. Поэтому адрес сети 127.0.0.0 не входит в состав адресов.

С целью сокращения количества адресов, которыми оперирует

маршрутизатор, в его таблице маршрутизации задаются адреса сетей, а не узлов. В то же время, в адресной части пакета задаются адреса узлов. Поэтому маршрутизатор, получив пакет, должен из адреса назначения получить адрес сети. Эту операцию маршрутизатор реализует путем **логического умножения сетевого адреса узла на маску**. Число разрядов маски равно числу разрядов IP-адреса. Непрерывная последовательность единиц в старших разрядах маски задает число разрядов адреса, относящихся к номеру сети. Младшие разряды маски, равные нулю, соответствуют адресу узла в сети. При логическом умножении адреса узла на маску получается адрес сети. Например, при умножении IP-адреса 192.100.12.67 на стандартную маску класса С, равную 255.255.255.0, получается следующий результат:

```
11000000.01100100.00001100.01000011
11111111.11111111.11111111.00000000
11000000.01100100.00001100.00000000
```

т.е. получен номер сети 192.100.12.0.

.128 – 1000 0000 /25	172 – 1010 1100
.192 – 1100 0000 /26	168 – 1010 1000
.224 – 1110 0000 /27	
.240 – 1111 0000 /28	
.248 – 1111 1000 /29	
.252 – 1111 1100 /30	

Аналогичная запись предыдущего адреса с соответствующей маской класса С может также иметь следующий вид: 192.100.12.67/24, означающий, что маска содержит единицы в 24 старших разрядах. При этом 24 старших разряда будут одинаковы для всех узлов сети, т.е. образуют общую часть адреса, называемую **префиксом**. Именно префикс имеет обозначение /24.

### Частные и общедоступные адреса

Адреса всех пользователей сети Internet должны быть уникальными. Все общественные (общедоступные) адреса должны быть зарегистрированы Региональным Интернет Регистратором (Regional Internet Registry – RIR),

который выделяет адреса провайдером, а те, в свою очередь, выделяет адреса сетевым администраторам и отдельным пользователям.

В связи с быстрым ростом Internet, имеется дефицит общественных адресов. Эту проблему может в некоторой мере ослабить использование **частных адресов (Private IP addresses)**. Сети с частными адресами, не подключенные к Internet, могут иметь любые адреса, лишь бы они были уникальны внутри частной сети. Выход в Интернет пакетов с частными адресами блокируется маршрутизатором. Документ RFC 1918 устанавливает три блока частных адресов для использования внутри частных сетей.

#### Диапазоны частных адресов

№	Диапазон адресов	Префикс
1	10.0.0.0 – 10.255.255.255	/8
2	172.16.0.0 – 172.31.255.255	/12
3	192.168.0.0 – 192.168.255.255	/16

Таким образом, данные адреса не могут быть использованы непосредственно в сети Интернет, т.к. маршрутизаторы отбрасывают пакеты с частными адресами.

#### Формирование подсетей

Однако в ряде случаев для удобного управления и защиты сетей от несанкционированного доступа администратор может самостоятельно формировать подсети внутри выделенного ему адресного пространства.

Использование масок переменной длины (Variable-length subnet mask - **VLSM**) позволяет создавать эффективные и масштабируемые схемы адреса. Маски переменной длины позволяют создавать подсети разного размера, гибко задавая границы между полем адреса сети и полем адреса узла. VLSM позволяет использовать больше чем одну маску подсети в пределах выделенного адресного пространства сети.

**Пример:** Провайдер выделил адрес сети 198.11.163.0/24. Необходимо разбить адресное пространство на десять подсетей: две подсети по 62 узла в каждой, две подсети по 30 узлов, 2 подсети по 14 узлов и 4 подсети по 6 узлов в каждой (табл.7.4). Соответственно маски будут иметь размер: 26 – для первых двух подсетей, 27 – для третьей и четвертой подсети, 28 – для пятой и шестой, 29 – для четырех последних подсетей.

#### Формирование подсетей с использованием масок переменной длины

№ подсети	Маска	Адрес подсети	Число узлов	Адреса узлов
1	255.255.255.192	198.11.163.0	62	198.11.163.1 - 198.11.163.62
2	255.255.255.192	198.11.163.64	62	198.11.163.65 - 198.11.163.126
3	255.255.255.224	198.11.163.128	30	198.11.163.129 - 198.11.163.158
4	255.255.255.224	198.11.163.160	30	198.11.163.161 - 198.11.163.190
5	255.255.255.240	198.11.163.192	14	198.11.163.193 - 198.11.163.206
6	255.255.255.240	198.11.163.208	14	198.11.163.209 - 198.11.163.222
7	255.255.255.248	198.11.163.224	6	198.11.163.225 - 198.11.163.230
8	255.255.255.248	198.11.163.232	6	198.11.163.233 - 198.11.163.238
9	255.255.255.248	198.11.163.240	6	198.11.163.241 - 198.11.163.246
10	255.255.255.248	198.11.163.248	6	198.11.163.249 - 198.11.163.254

## Беспроводной широкополосный доступ (БШД).

На данный момент беспроводные широкополосные сети практически находятся вне конкуренции по оперативности развертывания, мобильности, цене и широте возможных приложений.

Достоинства БШД:

- гибкость архитектуры, т.е. возможность динамического изменения топологии сети при подключении, передвижении и отключении мобильных пользователей без значительных потерь времени;
- достаточно высокая скорость передачи информации (1÷10 Мбит/с и выше);
- быстрота проектирования и развертывания;
- отказ от дорогостоящей и не всегда возможной прокладки или аренды оптоволоконного или медного кабеля.

Стандартизирующим органом для технологий сетей передачи данных является комитет 802 Института инженеров по электротехнике и электронике – IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). В области беспроводных сетей наиболее популярными на сегодняшний день являются три технологии **IEEE 802.11 Wi-Fi**, **IEEE 802.15 Bluetooth** и **IEEE 802.16 WiMAX**.

Технология **IEEE 802.11 Wi-Fi** (Wireless Fidelity – «беспроводная точность») разработана и стандартизирована для, так называемого, внутриофисного применения – это беспроводная ЛВС небольшого масштаба (как правило, в пределах офиса или этажа). В серии стандартов 802.11, определен достаточно простой коллизийный протокол, аналогичный Ethernet.

Параметр	802.11 FHSS	802.11 DSSS	802.11b HR-DSSS	802.11a OFDM	802.11g ERP	802.11j
Частотный диапазон (ГГц)	2,4	2,4	2,4	5	2,4	4,9
Максимальная скорость передачи данных (Мбит/с)	2	2	11	54	54	54
Тип модуляции	QPSK	GFSK	CCK	OFDM	OFDM	OFDM

Наиболее популярным вариантом этого набора является 802.11g, который поддерживает скорость передачи данных до 54 Мбит/с на частоте 2,4 ГГц, а так же обеспечивает обратную совместимость с более ранними версиями своего стандарта 802.11b. Администрирование таких сетей также достаточно отработано, что дает возможность использовать их любым предприятиям.

Стандарт **IEEE 802.15 Bluetooth** разработан для создания универсального, надежного и очень дешевого радиointерфейса беспроводного доступа. Сверхминиатюрные экологически безопасные радиопередатчики с малым энергопотреблением могут легко встраиваться в персональные компьютеры и любые портативные устройства.

<b>Основные параметры радиointерфейса Bluetooth</b>	
Диапазон частот	2,45 ГГц (ISM band)
Число несущих частот	23-79 с разносом 1 МГц (16/32 в одной пикосети)
Метод доступа	FHSS/TDD (1600 скачков в секунду)
Метод модуляции	G-FSK ( $h=(0,35)$ )
Скорость передачи по радиоканалу	1 Мбит/с
Полоса пропускания	220 кГц (по уровню 3 дБ), 1 МГц (по уровню 20 дБ)
Выходная мощность	не более 20 дБм

В системе Bluetooth определены пять типов логических каналов:

- LC (Link Control) — канал управления, с помощью которого поддерживается физическая связь между устройствами, образующими пикосеть;
- LM (Link Manager) — канал управления, который отвечает за установление соединений между ведущим и ведомыми устройствами, за обеспечение безопасности и криптозащиты;
- UA (User Asynchronous) — асинхронный канал;
- UI (User Isochronous) — изохронный канал, в котором обеспечивается идентичность только средних частот опорных генераторов ведущего и ведомого устройств;
- US (User Synchronous) — канал синхронного обмена данными.

Связь по синхронной линии организуется между ведущим и ведомым устройствами. Для этих целей в кадре ведущего приемопередатчика зарезервированы два соседних временных интервала (для прямого и для обратного каналов), которые периодически повторяются. Между ведущим и ведомыми устройствами может быть организовано одновременно до трех каналов. Любой ведомый приемопередатчик способен поддерживать сразу три соединения с одним ведущим устройством (если они находятся в пределах одной пикосети) или два (если информация передается из разных сетей).

Голосовая связь осуществляется со скоростью 64 кбит/с, причем используются три режима: без кодирования, с низкой ( $R=2/3$ ) и высокой ( $R=1/3$ ) степенью помехозащищенности. Благодаря такому решению в каждом конкретном случае можно гибко устанавливать требуемое соотношение между качеством речи (скоростью ее передачи) и помехозащищенностью.

Пакетная передача информации осуществляется в двух режимах: асинхронном и изохронном. Каналы предоставляются по команде ведущего устройства, работающего в режиме опроса ведомых терминалов. Для каждой физической линии определен свой набор пакетов. Между ведущим и ведомым терминалом допускается организация только одной линии. Максимальная скорость асинхронной линии составляет 721 кбит/с в прямом канале и 57,6 кбит/с в обратном, что обеспечивается за счет объединения пяти временных интервалов и передачи информации без кодирования.

Стандарт **IEEE 802.16 WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)** представляет собой рассчитанную на внедрение в городских распределенных (региональных) сетях (**WirelessMAN** - Metropolitan Area Network) технологию беспроводного широкополосного доступа операторского класса. Стандарт предусматривает построение некоторой универсальной транспортной среды для разнообразных приложений, включая данные, аудио/видео, передачу речи посредством IP-протокола (VoIP) с различным качеством обслуживания при скорости 12 Мбит/с и ширине канала 1,75 или 3,5 МГц (система BreezeMAX компании Alvarion).

Обозначение радиоинтерфейса	Диапазон, ГГц	Дуплекс	Технология
Wireless MAN-SC	10-66	TDD или FDD	Single Carrier
WirelessMAN-SCa	2-11	TDD или FDD	Single Carrier
WMAN-OFDM	2-11	TDD или FDD	OFDM 256
WMAN-OFDMA	2-11	TDD или FDD	OFDMA 2048
WirelessHUMAN	5-6	TDD	SC, OFDM 256, OFDMA 2048

Радиоинтерфейс диапазона 10...66 ГГц обозначен как **Wireless MAN-SC** (Single Carrier – одна несущая). В этом диапазоне частот радиосвязь возможна лишь в случае прямой видимости между точками. Поэтому используется только непосредственная модуляция несущей. Базовая станция при нисходящем потоке (передача от БС к АС) использует временное разделение, при котором каждому активному абоненту выделяются временные окна (слоты). При этом каналы ширина каналов до 25÷28 МГц, а скорости передачи до 120 Мбит/с.

Разделение дуплексных каналов в соответствии со стандартом реализуется по частоте (FDD- frequency division duplex) или по времени (TDD- time division duplex). От типа разделения зависит структура кадра обмена данными. Для разделения дуплексных каналов по частоте реализуются два режима: полудуплексный и дуплексный. В зависимости от удаленности абонентов в обоих режимах поддерживается адаптивный выбор вида модуляции и способов кодирования от слота к слоту даже в одном кадре.

В диапазоне 2...11 ГГц поддерживаются три спецификации радиоинтерфейса, допускающие возможность решения задач радиосвязи в условиях многолучевого распространения и при отсутствии прямой видимости.

Радиоинтерфейс **WirelessMAN-SCa** использует модуляцию одной несущей - это «низкочастотная» вариация **Wireless MAN-SC** (с рядом дополнительных механизмов); радиоинтерфейс **WMAN-OFDM** - ортогональную частотную модуляцию (OFDM- Orthogonal Frequency Division Multiplexing) с быстрым преобразованием Фурье на 256 точек; радиоинтерфейс **WMAN-OFDMA** использует OFDM-модуляцию сигнала и множественный доступ с ортогональным частотным разделением и быстрым преобразованием Фурье на 2048 точек.

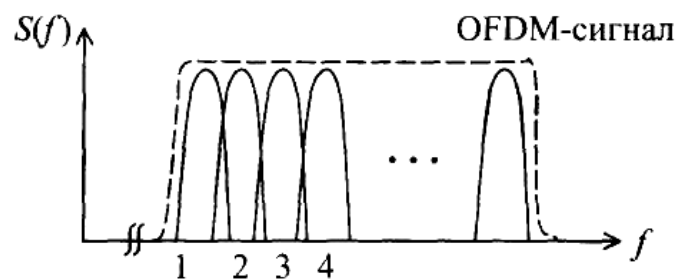
Последним является радиоинтерфейс **WirelessHUMAN** (High-speed Unlicensed Metropolitan Area Network). Фактически речь идет об адаптации

описанных методов в полосе частот порядка 5-6 ГГц. Основные отличия WirelessHUMAN — это использование только временного дуплексирования, режим динамического распределения частот (DFS - dynamic frequency selection) и механизм сквозной нумерации каналов.

В скором времени можно ожидать утверждения стандартов **802.16f** (Full Mobile WiMAX), который включает в себя алгоритмы обхода препятствий и оптимизацию сотовой топологии покрытия между базовыми станциями и **802.16m**, который должен поднять скорость передачи данных со стационарным клиентским оборудованием до 1 Гбит/с и с мобильным клиентским оборудованием - до 100 Мбит/с.

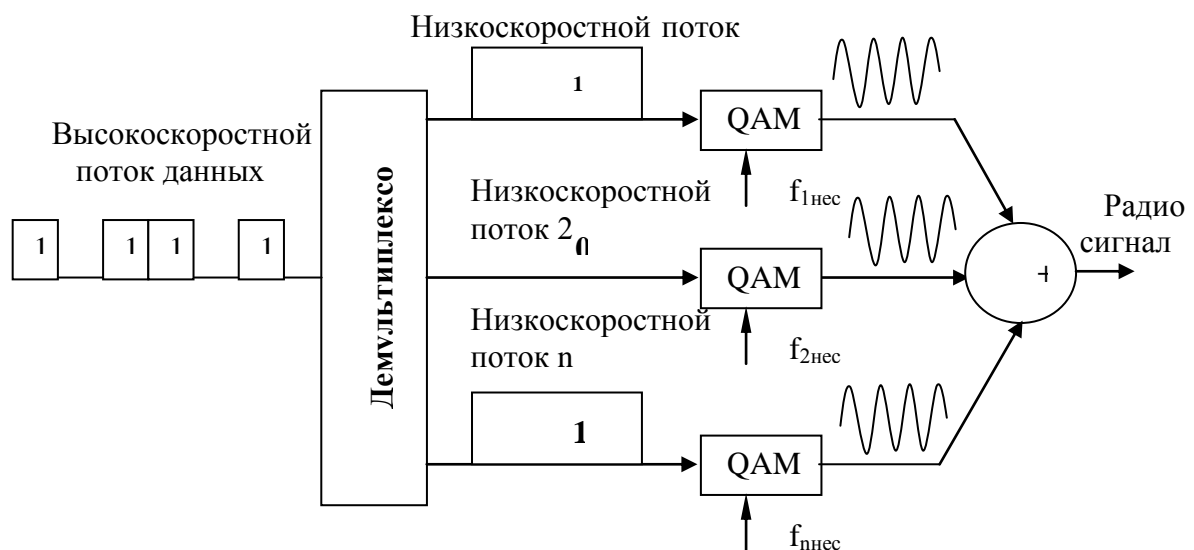
### Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением (OFDM)

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - мультиплексирование с ортогональным частотным разделением). При OFDM-модуляции осуществляется разделение потока данных на  $N$  подпотоков, каждый из которых выполняет модуляцию своей поднесущей, выделенной в общей полосе частот.



Структура сигнала при OFDM-модуляции

При модуляции данных посредством ортогональных несущих в частотном канале выделяется  $N$  поднесущих так, что  $f_k = f_c + k \cdot \Delta f$ ,  $k$ -целое число из диапазона  $[-N/2, N/2]$  ( $k \neq 0$ ).



Упрощенная схема OFDM-модулятора с применением QAM-модуляции поднесущих.



Расстояние между ортогональными несущими  $\Delta f = 1/T_b$ , где  $T_b$  - длительность передачи данных. При этом возможны различные способы модуляции поднесущих- QPSK, 16-QAM, 64-QAM.

Группа несущих частот, которая в данный момент времени переносит биты параллельных цифровых потоков, называется "символом OFDM". Благодаря тому, что используется большое число параллельных потоков, длительность символа в параллельных потоках оказывается существенно больше, чем в последовательном потоке данных. Это позволяет в декодере задержать оценку значений принятых символов на время, в течение которого изменения параметров радиоканала из-за действия эхо-сигналов прекратятся, и канал станет стабильным. Данный временной промежуток получил название «защитный интервал».

Защитный интервал обеспечивает уменьшение влияния многолучевого распространения, и передается в OFDM-символе вместе с данными. Таким образом, общая длительность OFDM-символа  $T_s = T_b + T_g$ , где  $T_g$  -длительность защитного интервала, в течение которого оценка значения символа в декодере не производится,  $T_b$  -длительность передачи данных (промежуток времени в течение которого в декодере принимается решение о значении принятого символа). Защитный интервал представляет собой копию оконечного фрагмента символа. Его длительность может составлять 1/4, 1/8, 1/16 и 1/32 от  $T_b$ .

OFDM-модуляция основана на двух основных принципах: разбиение одного канала с переменными параметрами на параллельные гауссовы каналы с различными отношениями сигнал/шум и точное измерение характеристик канала.

В соответствии с первым принципом OFDM каждая поднесущая модулируется независимо посредством квадратурной амплитудной модуляции (QAM). Общий сигнал вычисляется посредством обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ):

$$s(t) = \text{Re} \left( e^{i2\pi f_c t} \sum_{k=-N/2}^{N/2} c_k e^{i2\pi k \Delta f (t-T_g)} \right) \quad (0 < t < T_s),$$

где  $c_k$  - комплексное представление символа квадратурной модуляции (QAM-символа).

Поскольку генерация радиосигнала происходит посредством квадратурного модулятора, удобно комплексное представление в соответствии с выражением:

$$s_k(t) = I_k \cos(2\pi f_c t) - Q_k \sin(2\pi f_c t)$$

где  $I_k$  и  $Q_k$  - синфазное и квадратурное (целое и мнимое) значения комплексного символа соответственно.

Для работы алгоритмов БПФ/ОБПФ удобно, чтобы число точек преобразования соответствовало  $2^m$ . Поэтому число несущих выбирают равным минимальному числу  $N_{FFT} = 2^m$ , превосходящему  $N$ . В режиме OFDM стандарта IEEE 802.16  $N=200$ , соответственно  $N_{FFT} = 256$ . Из них 55 ( $k = -128 \dots -101$  и  $101 \dots 127$ ) образуют защитный интервал на границах частотного диапазона канала. Центральная частота канала ( $k = 0$ ) и частоты защитных интервалов не используются (т.е. амплитуды соответствующих им сигналов равны нулю).

Оставшиеся 200 несущих - информационные.

В соответствии со вторым принципом OFDM для точного определения параметров канала необходимы так называемые пилотные несущие частоты, метод модуляции и передаваемый сигнал в которых хорошо известен всем станциям в сети. В методе OFDM предусмотрено использование восьми пилотных частот (с индексами  $\pm 88$ ,  $\pm 63$ ,  $\pm 38$ ,  $\pm 13$ ). Остальные 192 несущие разбиты на 16 подканалов по 12 несущих в каждом, причем в одном подканале частоты расположены не подряд. Например, подканал 1 составляют несущие с индексами -100, -99, -98, -37, -36, -35, 1, 2, 3, 64, 65, 66. Деление на подканалы необходимо, поскольку в режиме WirelessMAN-OFDM предусмотрена возможность работы не во всех 16, а в одном, двух, четырех и восьми подканалах. Для этого каждый подканал и каждая группа подканалов имеет свой индекс (от 0 до 31).

Таким образом, в общем случае, OFDM-сигнал содержит поднесущие, используемые для передачи данных, пилот-сигналы, и защитные интервалы.

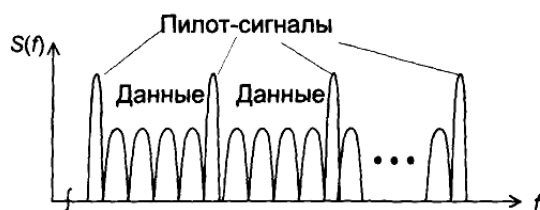


Рисунок 4. Структура OFDM-сигнала в частотной области.

Преимущество OFDM модуляции заключается в следующем:

во-первых, используемый защитный интервал позволяет эффективно бороться с МСИ, вызванной переотражениями сигналов. Действительно, поскольку скорость символов мала (длительность символа велика), то переотраженный сигнал в приемнике “накладывается” на прямо распространяющийся сигнал в интервале одного символа, а не следующего, попадая в защитный интервал;

во-вторых, применение “обучающих” OFDM сигналов и пилот сигналов мы получаем информацию о передаточной функции канала и, следовательно, можем скомпенсировать амплитудные замирания на поднесущих при приеме сигнала, а также оптимизировать мощность и скорость передачи сигналов (посредством выбора вида модуляции и степени сверточного кодирования) в интересах максимизации пропускной способности в общем канале и верности передачи сигналов.

в-третьих, так как пакет данных передается в  $N$  независимых подканалах, то потеря информации в некоторых подканалах приводит к появлению небольшого числа независимых ошибок (так как скорость субпотока мала по сравнению с основным), которые можно исправить при декодировании в сверточном декодере.

## Сети стандарта GSM

В стандарте GSM используется узкополосный многостанционный доступ с временным разделением каналов.

Частоты передачи ПС и приёма БС (восходящий поток)	890-915 МГц
Частоты передачи БС и приёма ПС (нисходящий поток)	935-960 МГц
Дуплексный разнос частот приёма и передачи	45 МГц
Ширина полосы канала связи	200 кГц
Максимальное количество каналов связи	124
Скорость передачи в радиотракте	270,833 кбит/с
Скорость преобразования речевого кодера	13 кбит/с
Количество скачков по частоте в секунду	217
Максимальный радиус соты	35 км

Основу сети GSM, объединяющую совокупность сот, составляют: коммутационный центр КЦ (SS), базовые БС (BSS) и подвижные станции ПС (MS).

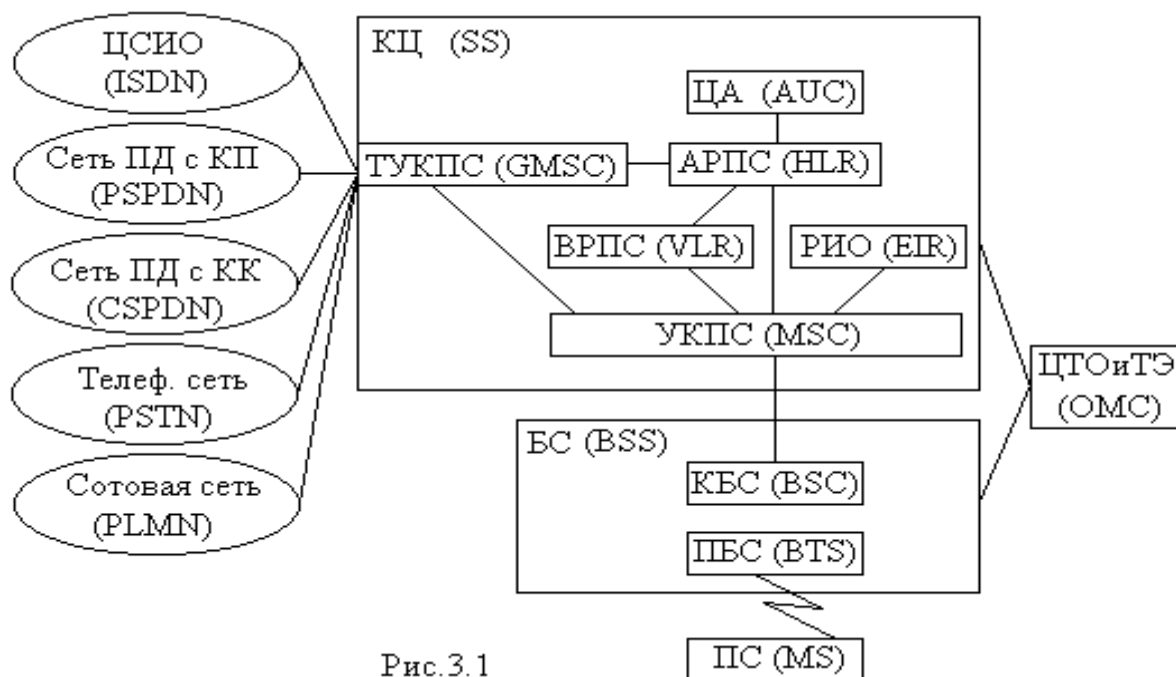


Рис. 3.1

Функциональная структура сети GSM

**Коммутационный центр** обеспечивает коммутацию и реализацию процесса обслуживания вызовов, как и на стационарных АТС, а так же реализует дополнительные функции, обусловленные использованием радиоканалов.

Закрепление радиоканалов осуществляется за вызовами, а не за абонентами, поэтому во избежание несанкционированного использования сети GSM необходима аутентификация абонента. Кроме того, необходимо не только аутентифицировать абонента, но и идентифицировать оборудование ПС.

- **УКПС** - узел коммутации подвижных станций (MSC – Mobile Services Switching Centre), непосредственно осуществляет коммутацию, управление процессом обслуживания вызовов с модификацией данных о местонахождении

- ПС и переключение вызова из одной зоны обслуживания в другую, а также тарификацию;
- **ТУКПС** - транзитный узел коммутации подвижных станций (GMSC – Gateway MSC), являющийся шлюзом для выхода на другие сети электросвязи;
  - **АРПС** - адресный регистр подвижных станций (HLR – Home Location Register), представляющий собой единую базу абонентских данных для конкретной сотовой телефонной сети, обеспечивающий хранение абонентских данных ПС, а также данных о том, в каком ВРПС зарегистрирована каждая из ПС в конкретный момент времени;
  - **ВРПС** - временный регистр подвижных станций (VLR – Visitor Location Register), содержащий абонентские данные ПС, находящихся в данный момент в зоне обслуживания конкретного УКПС. Необходимые данные ВРПС получает из АРПС;
  - **ЦА** - центр аутентификации абонентов (AUC – authentication Centre), обеспечивающий защиту сети от несанкционированного доступа;
  - **РНО** - регистр идентификации оборудования, (EIR – Equipment Identity Register), который соединен с УКПС и позволяет идентифицировать ПС.

В сотовых телефонных сетях ПС включается не в конкретный УКПС, а непосредственно в сеть, которая может содержать несколько узлов коммутации подвижных станций (УКПС), а каждый УКПС – несколько БС, и абонент может свободно перемещаться между зонами обслуживания различных БС и УКПС. Следовательно, необходимо, иметь единую базу абонентских данных для всей сети, а каждый УКПС должен иметь абонентские данные о ПС, находящихся в данный момент времени в зоне его обслуживания, получая их по мере необходимости из единой базы данных.

Базовая станция, как функциональная единица сети GSM, разделена на два функциональных блока: приемо-передающая станция ПБС (BTS – Base Transceiver Station) и контроллер базовой станции КБС (BSC - Base Station Controller). Приемо-передающая станция обеспечивает только радиообмен между БС и ПС. Контроллер БС осуществляет предварительную обработку информации для УКПС, т.е. реализует транскодирование, контролирует уровень сигналов радиоканалов (перемещение абонента), передачу вещательного вызова для поиска конкретной ПС и т.д. При этом один КБС может управлять одной или несколькими ПБС.

### **Безопасность сети GSM**

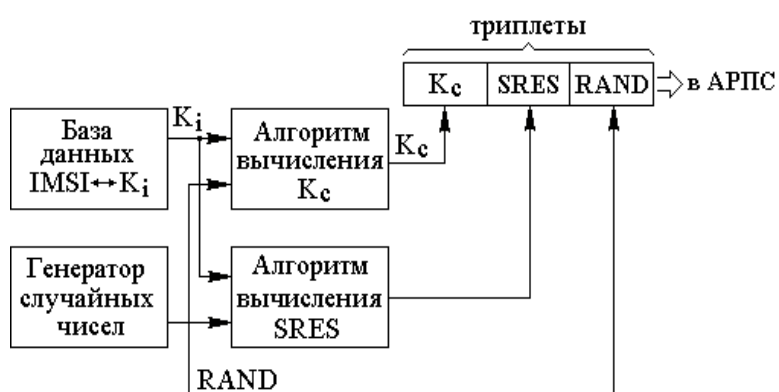
Безопасность мобильного телефона складывается из двух составляющих: *SIM*-карты (*Subscriber Identity Module*) и самого телефона. В *SIM*-карте содержится информация о сервисах, предоставляемых абоненту, независимая от типа используемого мобильного оборудования. Эта карта может вставляться в любой другой GSM терминал, при этом абонент получает возможность использовать этот терминал для получения всех сервисов системы, на которые он подписан. *SIM*-карта отвечает за идентификацию абонента и аутентификацию мобильного

телефона в сети GSM и GPRS. Она содержит идентификатор *IMSI*, индивидуальный ключ аутентификации абонента длиной 128 бит  $K_i$ , алгоритм генерации ключей шифрования  $A_8$ , алгоритм аутентификации  $A_3$ , и *PIN*-код (*Personal Identification Number*), после 3-х неправильных попыток ввода которого, *SIM*-карта блокируется.

Каждый абонент в сети имеет уникальный международный идентификатор мобильного абонента (*IMSI, International Mobile Subscriber Identity*), который состоит из 3 элементов:

- трехразрядный код страны (для России - 250)
- двухразрядный код сети (для МТС - 01, для Билайн - 99, для СМАРТС - 07 и т.д.)
- десятиразрядный код абонента (*Mobile Subscriber Identity Number, MSIN*).

Алгоритм  $A_8$  отвечает за генерацию ключей шифрования передаваемых данных, который, используя случайное число, передаваемое на мобильный терминал в момент соединения с сетью, и ключ  $K_i$  генерирует 64-битный ключ шифрования трафика  $K_c$ . Алгоритм  $A_3$ , отвечающий за аутентификацию абонента, похож на алгоритм  $A_8$  и также использует случайное число, получаемое в момент подключения к сети и индивидуальный ключ абонента.



Аутентификация происходит при запросе ПС доступа к сети. УКПС (ВРПС) передает ПС случайное число  $RAND$  из конкретной триплеты. ПС, получив число  $RAND$  и используя хранящийся у нее абонентский ключ  $K_i$ , вычисляет маркированный отклик  $SRES$ . Случайное

число  $RAND$  и  $K_i$  являются исходными данными для вычисления  $K_c$  и  $SRES$ . При этом используются два различных алгоритма вычисления. Получив  $SRES$ , ПС передает его в УКПС (ВРПС), где происходит сравнение принятого  $SRES$  с хранящимся в ЦА из соответствующей триплеты. При совпадении кодовых слов – ПС разрешается доступ к сети. Процедура аутентификации осуществляется при регистрации ПС, попытке установления соединения, обновлении данных.

Закрытие пользовательской информации, передаваемой по радиоканалу, осуществляется в ПБС и ПС, где применяются одни и те же алгоритмы. Для закрытия пользовательской информации используются номер цикла доступа и ключ закрытия информации  $K_c$ . В ПБС используется  $K_c$  триплеты, а в ПС он вычисляется на основании полученного случайного числа  $RAND$  и абонентского ключа  $K_i$ , но эти  $K_c$  идентичны.

## Безопасность технологии GPRS

GPRS (*General Packet Radio Service*) - это технология, позволяющая работать в сети Internet, используя обычный мобильный телефон. Основное достоинство GPRS-сетей состоит в том, что пользователь оплачивает только объем передаваемой информации, а не время нахождения в сети. Во время пауз ресурсы сети предоставляются в распоряжение других абонентов. В GPRS максимально возможная скорость передачи данных составляет 171,2 кбит/с, однако реальные скорости передачи составляют 30÷40 кбит/с.

**Мобильная станция MS** (mobile station) в зависимости от класса оборудования и возможностей сети может работать в одном из 3-х режимов:

- Класс А - позволяет мобильной станции в одно и то же время передавать как данные, так и голос, т.е. одновременно работать в GSM- и GPRS-сетях.
- Класс В - позволяет мобильной станции передавать и данные и голос, но в разные моменты времени.
- Класс С - позволяет мобильной станции работать только в режиме GPRS.

При подключении к сети GPRS, мобильная станция получает IP-адрес, который не меняется до момента отключения мобильного терминала. Мобильная станция устанавливает соединение с узлом обслуживания абонентов GPRS.

Безопасность самого телефона, обеспечивается двумя механизмами:

- алгоритмом шифрования A5, который обеспечивает защиту данных, циркулируемых между мобильной станцией и узлом обслуживания абонентов GPRS – SGSN (serving GPRS support node), который по своей сути, аналогичен центру коммутации MSC в GSM, но в отличие от последнего, он коммутирует пакеты, а не каналы.
- Уникальным международным идентификатором аппаратуры мобильной связи (*International Mobile Equipment Identity, IMEI*), который однозначно идентифицирует телефон. Чтобы узнать этот номер достаточно набрать на телефоне комбинацию \*#06#. Именно эти номера хранятся в реестре оборудования *EIR*. Данный реестр ведет три типа списков *IMEI*:
  - "белый" список, содержит идентификаторы всех разрешенных аппаратов.
  - "черный" список, содержит идентификаторы всех запрещенных аппаратов.
  - "серый" список, содержит идентификаторы всех незапрещенных аппаратов, но имеющих определённые ограничения.

Идентификаторы *IMEI* и *IMSI* - независимы между собой и решают различные задачи: *IMEI* идентифицирует мобильный терминал, а *IMSI* - абонента.

**Безопасность соединения мобильной станции с узлом SGSN.** В процессе подключения мобильной станции, к узлу SGSN происходит выбор версии используемого в дальнейшем алгоритма шифрования GPRS-A5 – GEA3.

**Безопасность данных в процессе их передачи по сети GPRS.** Все данные между узлами поддержки передаются с помощью специального протокола GTP (GPRS Tunneling Protocol), который инкапсулирует в себя любые пользовательские протоколы, например, HTTP, Telnet, FTP и т.д. По умолчанию GTP-трафик не шифруется. Кроме того, опорная сеть строится на базе частных IP-адресов, что обеспечивает невозможность прямого доступа к сетевому оборудованию из внешних сетей.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский  
университет)» (СГАУ)

Факультет информатики  
Кафедра геоинформатики и информационной безопасности

**Ротенштейн И.В.**

Вопросы к зачёту по курсу  
«СЕТИ И СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ»

для студентов, обучающихся по специальности  
090303.65 «Информационная безопасность  
автоматизированных систем»

Самара 2012



## Вопросы к зачёту по курсу «Сети и системы передачи информации»

1. Обобщённая схема электросвязи.
2. Общее определение уровней передачи.
3. Виды уровней передачи и взаимосвязь между ними.
4. Канал тональной частоты.
5. Параметры канала ТЧ.
6. Защита речевой информации на коммутируемых каналах связи.
7. Методы преобразования речевого сигнала, препятствующие перехвату информации.
8. Виды телефонных угроз.
9. Пассивные средства защиты информации.
10. Аппаратура определения подключения к телефонной линии.
11. Активные средства защиты информации.
12. Многоканальные системы передачи. Принцип разделения каналов.
13. Частотное Разделение Каналов.
14. Перенос спектра при ЧРК.
15. Радио-релейные системы передачи.
16. План распределения частот.
17. Спутниковые СП.
18. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС.
19. Временное разделение каналов.
20. Амплитудно-Импульсная Модуляция.
21. Широтно-Импульсная Модуляция .
22. Частотно-Импульсная Модуляция.
23. Фазо-Импульсная Модуляция.
24. Квадратурная Амплитудная Модуляция.
25. Цифровая обработка сигналов. Дискретизация, квантование, кодирование.
26. Импульсно-Кодовая Модуляция.
27. Адаптивная Дифференциальная ИКМ.
28. Адаптивная Дельта Модуляция.
29. Линии связи
30. Линии связи на основе металлических проводников.
31. Волоконно-оптические линии связи.
32. Радиолинии связи.
33. Основной цифровой канал.
34. Формирование E1
35. Плезиохронная цифровая иерархия (PDH).
36. Синхронная цифровая иерархия (SDH).
37. Формирование STM-1.
38. Указатели в SDH.
39. Заголовки SDH.
40. Синхронизация в SDH.
41. Способы обеспечения безотказной работы SDH.
42. Вокодерное кодирование.
43. Полосовой вокодер.
44. Формантный вокодер.
45. Гармонический вокодер.
46. Гибридный вокодер.
47. Сети связи WAN, LAN, MAN, VPN.
48. Модель Взаимодействия Открытых Систем (7 уровн).
49. Адресация в IP сетях.
50. Системы сотовой подвижной связи.
51. Стандарт GSM, GPRS.
52. Кодовое разделение каналов. Стандарт CDMA 2000.
53. Беспроводной Широкополосный Доступ.
54. БШД на основе WiFi (IEEE 802.11).
55. БШД на основе Bluetooth (IEEE 802.15).
56. БШД на основе WiMAX (IEEE 802.16).
57. Технология OFDM, OFDMA.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский  
университет)» (СГАУ)

Факультет информатики  
Кафедра геоинформатики и информационной безопасности

**Ротенштейн И.В.**

Рабочая программа курса  
«СЕТИ И СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ»

для студентов, обучающихся по специальности  
090303.65 «Информационная безопасность  
автоматизированных систем»

Самара 2012

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П.КОРОЛЕВА (национальный исследовательский университет)»



«СОГЛАСОВАНО»

Управление образовательных программ

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебной работе

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

По дисциплине: Сети и системы передачи информации

(наименование дисциплины или практики по учебному плану)

федерального, национально-регионального компонента, по выбору студента, факультативная дисциплина специализации для специальности (специализации) (нужное подчеркнуть)

**090303.65 Информационная Безопасность Автоматизированных Систем (специалист)**

(коды и наименования специальностей и направлений подготовки, специализации, формы обучения)

Цикл: \_\_\_\_\_ Общепрофессиональный

Часть цикла: \_\_\_\_\_ Информатика и вычислительная техника

Код учебного плана: \_\_\_\_\_

Факультеты №: 6, Информатики

Кафедра Геоинформатики и информационной безопасности

Курс 3

Семестр 6

Лекции 36 \_\_\_\_\_ (часов)

Экзамен - \_\_\_\_\_ (семестр)

Лабораторные занятия 36 \_\_\_\_\_ (часов)

Зачет 6 \_\_\_\_\_ (семестр)

Практические занятия - \_\_\_\_\_ (часов)

Курсовой проект (работа) - \_\_\_\_\_ (часов)

Самост. и индивидуальная. работа 36 \_\_\_\_\_ (часов)

Самост. подготовка и сдача зач-ов 0 \_\_\_\_\_ (часов)

Всего часов 108 \_\_\_\_\_

2012 г.

Рабочая программа составлена на основании:

Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки 090105.65 «Комплексное обеспечение информационной безопасности автоматизированных систем»

(наименование государственных образовательных стандартов специальностей и направлений, учебных планов, типовых программ)

Соответствие содержания рабочей программы, условий ее реализации, материально-технической и учебно-методической обеспеченности учебного процесса по дисциплине всем требованиям государственных образовательных стандартов подтверждаем.

Составители: Кузнецов М.В., доцент, к.т.н., кафедра ГИиИБ  
(Ф.И.О., ученое звание, степень, место работы, подпись)

Заведующий кафедрой ГИиИБ \_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Сергеев В.В.  
(Ф.И.О., подпись)

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры ГИиИБ  
Протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012г.

# **1 Цели и задачи дисциплины, её место в учебном плане, требования к уровню освоения содержания дисциплины**

## **1.0 Перечень развиваемых компетенций**

### **ПК – профессиональная компетенция**

(ПК-4) способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, применять достижения современных информационных технологий для поиска и обработки больших объемов информации по профилю деятельности в глобальных компьютерных системах, сетях, в библиотечных фондах и в иных источниках информации;

(ПК-8) способностью к освоению новых образцов программных, технических средств и информационных технологий;

(ПК-11) способностью разрабатывать и исследовать модели автоматизированных систем;

(ПК-15) способностью проводить анализ, предлагать и обосновывать выбор решений по обеспечению требуемого уровня эффективности применения автоматизированных систем;

(ПК-19) способностью участвовать в разработке компонентов автоматизированных систем в сфере профессиональной деятельности;

(ПК-30) способностью организовать эксплуатацию автоматизированной системы с учетом требований информационной безопасности;

(ПК-40) способностью обеспечить восстановление работоспособности систем защиты информации при возникновении нештатных ситуаций.

(ПСК-7.1) способностью разрабатывать и исследовать модели информационно-технологических ресурсов в распределенных информационных системах;

## **1.1 Цели и задачи изучения модуля (дисциплины)**

### *Цели дисциплины:*

1 Создание у студентов основ теоретической подготовки в области формирования, преобразования и передачи сигналов, позволяющей будущим инженерам ориентироваться в потоке научной и технической информации и обеспечивающей им возможность использования разнообразных телекоммуникационных технологий в тех областях техники, в которых они специализируются.

2 Формирование у студентов научного мышления, правильного представления о формах и способах передачи информации в современных телекоммуникационных системах и сетях.

3 Усвоение основных принципов построения многоканальных цифровых систем передачи, а так же законов формирования, распространения и регенерации информационных сигналов в современных линиях связи.

4 Выработка у студентов навыков решения конкретных инженерных задач в области передачи информации, помогающих студентам в дальнейшем проектировать надёжные защищённые телекоммуникационные системы.

## **1.2 Требования к уровню подготовки студента, завершившего изучение данного модуля (дисциплины)**

Студенты, завершившие изучение данной дисциплины, должны

**знать:** основные законы формирования, преобразования и передачи информации, современные технологии, применяемые в телекоммуникационных системах и структуру построения мультисервисных и интегрированных сетей передачи информации.

**уметь:** применять знания по теории создания систем и сетей к решению конкретных инженерных и исследовательских задач; реализовать информационные технологии в сфере профессиональной деятельности с использованием защищенных автоматизированных систем; обеспечить восстановление работоспособности телекоммуникационных систем при возникновении нештатных ситуаций.

## **1.3 Связь с предшествующими дисциплинами**

Для успешного усвоения курса студенты должны изучить следующие дисциплины:

- 1) высшая математика;
- 2) физика;
- 3) электроника и схемотехника;
- 4) теория информации;
- 5) основы радиотехники.

## **1.4 Связь с последующими дисциплинами**

Курс совместно с курсами: Безопасность операционных систем, Безопасность сетей ЭВМ, Безопасность систем баз данных, Информационная безопасность распределенных информационных систем, Методы проектирования защищенных распределенных информационных систем, он составляет основу теоретической подготовки инженеров и играет роль прикладной базы, без которой невозможна успешная деятельность инженера информационной безопасности.

## 2 Содержание аудиторных занятий

Наименование дисциплин и разделов, используемых в данном разделе изучаемой дисциплины	ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ		ПРАКТИЧЕСКИЕ, СЕМИНАРСКИЕ, ЛАБОРАТОРНЫЕ И ДР. ВИДЫ АУДИТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ				Дисциплины, использующие данный раздел
	Номер, наименование темы и раздела. Содержание раздела.	Объем в часах	Практические занятия	Объем в часах	Лабораторные работы	Объем в часах	
1	2	3	4а	5а	4б	5б	6
Семестр 1							
Математика: 1. Логарифмы. 2. Дифференциальное и интегральное исчисление. 3. Основные понятия теории вероятности.  Физика: 1. Колебания и волны. 2. Оптика. 3. Электродинамика.  Электротехника и основы электроники.  Теория информации	1. Обобщённая схема электросвязи. (интерактивное)	2			№ 1. Измерение уровней передачи. (нтерактивное) Исследование параметров четырёхполосника. (активное) № 2. Параметры первичных сигналов. (интерактивное) Измерение параметров канала тональной частоты. (активное) № 3. Перенос спектра. (интерактивное) Исследование частотного разделения каналов. (активное) № 4. Формирование цифрового сигнала. (интерактивное) Исследование временного разделения каналов. (активное) № 5. Основной цифровой канал. (активное) Линейные коды систем передачи. (интерактивное) № 6. Основы Синхронной цифровой иерархии	2	Безопасность вычислительных сетей.
	2. Каналы и Линии связи. (интерактивное)	2				2	Безопасность систем баз данных.
	3 . Многоканальные системы передачи. (интерактивное)	2				2	Информационная безопасность распределенных информационных систем.
	4. Частотное разделение каналов. (интерактивное)	2				2	Методы проектирования защищенных распределенных информационных систем.
	5. Радиорелейные спутниковые системы передачи. (интерактивное)	2				2	
	6. Временное разделение каналов. (интерактивное)	2				2	
	7. Основной Цифровой Канал. Кодирование речи в ЦСП. (интерактивное)	2				2	
	8. Иерархии в ЦСП. Европейская ПЦИ. (интерактивное)	2				2	
	9. Синхронная цифровая иерархия. (интерактивное)	2				2	
	10. Защита речи на коммутируемых каналах связи. (интерактивное)	2				2	
	11. Оптические системы передачи. Технология WDM. (интерактивное)	2				2	4

	12. Семиуровневая модель OSI. (интерактивное)	2			(интерактивное) № 7. Формирование кадра GSM (GPRS). (интерактивное) Помехоустойчивость CDMA (активное) № 8. Адресация IP-сетей (интерактивное) Статическая маршрутизация (активное) № 9. Отчетные занятия. (активное)	2 2 2 2 2 4	
	13. Структура построения сетей передачи данных. (интерактивное)	2					
	14. Системы сотовой связи безопасность GSM. (интерактивное)	2					
	15. Кодовое разделение каналов. Стандарт CDMA. (интерактивное)	2					
	16. Беспроводной широкополосный доступ. Blue tooth, WiFi, WiMAX, OFDMA, QAM-64. (интерактивное)	2					
	17. Протоколы передачи данных. (интерактивное)	2					
	18. Мультисервисные сети. Телематические службы. (интерактивное)	2					
<b>Итого на всю дисциплину</b>		<b>36</b>		<b>0</b>		<b>36</b>	



### 3 Самостоятельная работа студентов<sup>1</sup>

**Объем часов, отводимый на самостоятельную работу студентов по рабочей программе (в соответствии с учебными планами):**

6 семестр: 36

**Характеристика целей и форм самостоятельной работы по данной рабочей программе.**

Самостоятельная работа по дисциплине направлена на:

- Поиск и изучение дополнительной литературы и современных статей по темам изученного материала, включая электронные издания, их систематизации и подготовки обобщающего итогового реферата.
- Решение задач для подготовки к выполнению лабораторных работ и закрепления пройденного материала.
- Подготовка к отчетным занятиям.

**Перечень разделов и тем, выносящихся на самостоятельное изучение, с отводимым объемом часов:**

6 семестр.

- 1.1. Многоканальные системы передачи: 2 (изучение теории).
- 1.2. Радиорелейные системы передачи: 4 (изучение теории).
- 1.3. Кодирование речи в ЦСП: 8 (изучение теории).
- 1.4. Синхронная цифровая иерархия SDH: 8 (изучение теории).
- 1.5. Кодовое разделение каналов CDMA: 4 (изучение теории).
- 1.6. Ортогональное частотное разделение OFDMA: 4 (изучение теории).
- 1.7. Технологии беспроводного широкополосного доступа: 6 (изучение теории).

### 4 Текущий и промежуточный контроль знаний студентов

Наименование контрольного мероприятия	Наименование раздела (темы) дисциплины	Срок проведения (неделя семестра или номер занятия)	Форма оценивания результата и дополнительные сведения (балльная оценка, допуск/недопуск, % выполнения и т.п.)
1	2	3	4
Решение задач для допуска к выполнению лабораторных работ	Все разделы	Каждое практическое занятие, выборочно 3 – 5 студентов группы	Допуск / недопуск
Отчет по лабораторным работам	Все разделы	Каждое лабораторное занятие; отчетные занятия, 16 и 17 недели	Зачет / незачет % выполнения
Зачёт	Все разделы	Согласно расписанию	Зачет / незачет

<sup>1</sup> - Подробное распределение часов по разделам и темам самостоятельной работы указывается по усмотрению составителей программы и заведующего кафедрой.

## **5 Инновационные методы обучения<sup>2</sup>**

5.1 Выполнение лабораторных работ с элементами исследования;

5.2 Компьютерная обработка результатов измерений в лабораторных работах.

5.3 Решение задач исследовательского характера.

5.3 Прием отчётов по лабораторным работам в форме «круглого стола» для групп из 2-3 студентов.

## **6 Технические средства и материальное обеспечение учебного процесса<sup>3</sup>**

6.1 Компьютерный класс, используемый при проведении лабораторного практикума и практических занятий.

6.2 Компьютерные программы обучающие, для демонстрации и изучения принципов и систем передачи.

## **7 Учебно-методическое обеспечение**

### **7.1 Основная литература<sup>4</sup>:**

1. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы. Уч. для вузов. - М.: Горячая линия – Телеком, 2005 г.-416 с.: ил.
2. Крук Б.И., Попантопуло В.Н., Шувалов В.П. Телекоммуникационные системы и сети – современные технологии. Т.1, – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 647с.
3. Ломовицкий В.В., Михайлов А.И., Шестак К.В., Шекотихин К.В. Основы построения систем и сетей передачи информации. Уч. пособие. М.: Горячая линия-Телеком, 2005, 382 с.: ил.

### **7.2 Дополнительная литература<sup>5</sup>:**

1. Крухмалёв В.В., Гордиенко В.Н. и др. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 510с.
2. Слепов А.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных систем связи (ATM, PDH, SDH, Sonet и WDM). М.: Радио и связь, 2003, 468 с.: ил.
3. Теория электрической связи: Учебник для вузов. /Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 1998. – 433с.
4. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. 2-е дополненное издание. Москва: Техносфера. 2004.-496 с. ISBN 5-94836-010-5
5. Шмалько А.В. Цифровые сети связи: основы проектирования и построения. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 282с.

---

<sup>2</sup> В случае использования традиционных методов и средств обучения это необходимо отметить явно.

<sup>3</sup> Приводятся только самые основные технические средства, используемые в учебном процессе. По усмотрению составителей программы и заведующего кафедрой раздел может быть раскрыт с подробной детализацией.

<sup>4</sup> Указывается не более трех наименований. Информация о количестве экземпляров указывается составителями по решению кафедры.

<sup>5</sup> Приводится не более пяти наименований.

### 7.3 Электронные источники и интернет-ресурсы<sup>6</sup>

### 7.4 Методические указания и рекомендации

Текущий контроль знаний студентов в каждом семестре завершается на отчетном занятии, результатом которого является допуск или недопуск студента к зачёту по дисциплине. Основанием для допуска к зачёту является выполнение и отчет студента по всем лабораторным работам, и прием индивидуального задания. Неудовлетворительная оценка по контрольной работе не лишает студента права сдавать зачёт, но может быть основанием для дополнительного вопроса (задания) на зачёте.

Промежуточный контроль знаний студентов проводят в каждом семестре в виде зачёта, который проводится согласно положению о текущем и промежуточном контроле знаний студентов, утвержденному ректором университета. Зачёт ставится на основании письменного и устного ответов студента по билету, который включает два теоретических вопроса и задачу.

#### Приложение. Распределение типов занятий<sup>7</sup>

##### Распределение типов занятий. Семестр 1

Вид занятия	Тип занятия (в %)		
	активные	интерактивные	традиционные
Лекция	0	36	0
Практика			
Лабораторная работа	18	18	0
Курсовая работа			
Самостоятельная работа студента	18	0	18
ИТОГО (в часах):	36	54	18
ИТОГО (%):	33	50	17

<sup>6</sup> Приводятся апробированные интернет-ресурсы и электронные курсы.

<sup>7</sup> См. **Федеральный стандарт**, глава 7 («Требования...»)